

Teoria dos Jogos

Roberto Guena de Oliveira

1 de junho de 2017

USP

Introdução

Os elementos de um jogo

Jogadores Quais são os agentes envolvidos em um jogo? Em que número? Como serão denominados?

Regras do jogo Quais são os movimentos que cada jogador pode realizar e quando?

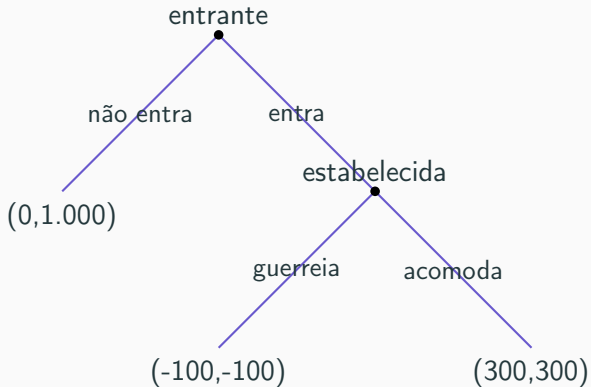
Payoffs Quais são as preferências de cada jogador em relação a cada possível resultado do jogo?

Jogos na forma extensiva

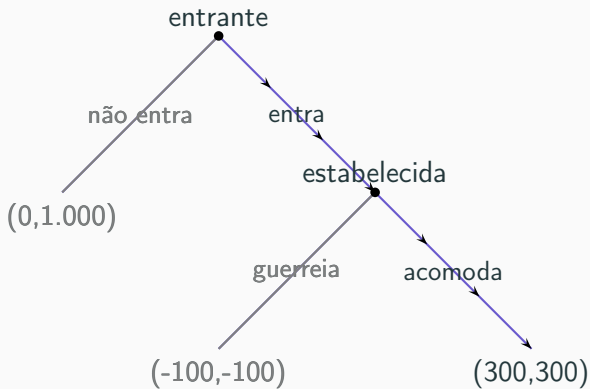
Exemplo: Empresa entrante vs. empresa estabelecida

Uma empresa, chamada entrante, deve decidir se entra ou não entra em um mercado dominado por outra empresa, a empresa estabelecida. Se ela entrar, a empresa estabelecida deve decidir se inicia uma guerra de preços ou se concede pacificamente o mercado com a entrante. Caso a entrante desista de entrar, o lucro da empresa estabelecida será de \$1 bilhão. Se ela entrar e a estabelecida optar por guerra de preços, as duas empresas terão prejuízo de \$100 milhões. Caso, com a entrada da entrante, a estabelecida decida acomodar, cada empresa terá lucro de \$300 milhões.

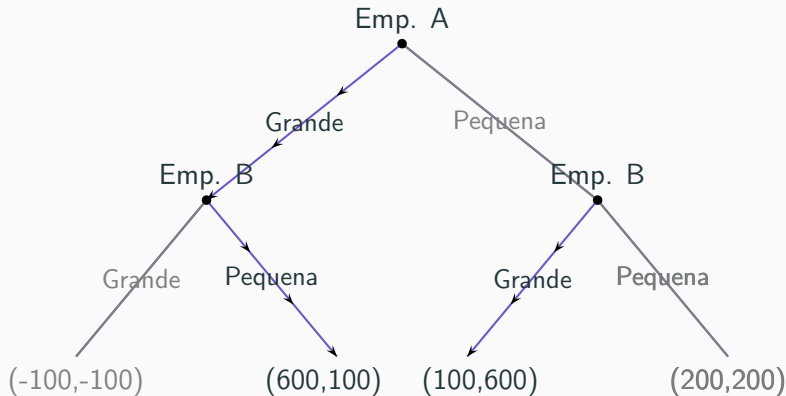
Entrante vs. estabelecida



Solução do jogo por indução retroativa



Exemplo: escolha de capacidade produtiva



◀ retornar do desvio

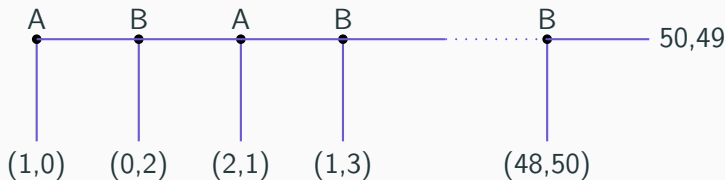
O jogo do ultimato

R\$ 1.000,00 reais devem ser divididos entre dois jogadores. A regra para a divisão é a seguinte. Um primeiro jogador propõe uma divisão (ex. R\$ 900,00 para mim e R\$ 100 para você). O segundo jogador deve aceitar ou não essa divisão. Caso ele aceite, a divisão do dinheiro é feita conforme propôs o jogador 1. Caso ele não aceite nenhum jogador recebe dinheiro algum.

Qual a solução para esse jogo pelo princípio da indução retroativa?
O que deve realmente ocorrer quando esse jogo é jogado?

O jogo da Centopéia

O jogo começa com o jogador 1 com R\$1,00 e o jogador 2 com nada. O jogador 1 pode decidir parar o jogo, caso no qual ele fica com seu R\$1,00 ou pagar R\$1,00 para que o jogo continue. Caso ele pague, a banca adiciona R\$1,00 ao R\$ do jogador 1 e passa os R\$2,00 para o jogador 2. Este deve decidir encerrar o jogo ou pagar para que o jogo continue. Após a 100ª, o jogo é encerrado compulsoriamente.



Aplicação 1: o modelo de Stakelberg ou liderança quantidade.

Descrição do modelo

- Duas empresas devem decidir quanto produzir.
- Uma dessas empresas, a empresa líder, deverá tomar sua decisão antes da outra.
- A outra empresa, a empresa seguidora, deverá decidir quanto produzir conhecendo a escolha feita pela empresa líder.
- A empresa líder deverá antecipar a reação da empresa seguido para tomar a decisão acertada.

Exemplo:

Informações

- Função de demanda: $p(y_1 + y_2) = a - b(y_1 + y_2)$
- O custo da empresa 1 é $c_1 \times y_1$
- O custo da empresa 2 é $c_2 \times y_2$
- Empresa líder é a empresa 1.

O problema da seguidora

$$\max_{y_2} [a - b(y_1 + y_2)]y_2 - c_2 y_2$$

Reação da seguidora:

$$y_2(y_1) = \frac{a - c_2}{2b} - \frac{y_1}{2}$$

Essa função é chamada *função de reação* da seguidora.

Exemplo (cont.):

O problema da líder

$$\begin{aligned} \max_{y_1} \quad & [a - b(y_1 + y_2)]y_1 - cy_1 \\ \text{sujeito a} \quad & y_2 = \frac{a - c_2}{2b} - \frac{y_1}{2} \end{aligned}$$

Solução:

$$y_1 = \frac{a - 2c_1 + c_2}{2b}$$

$$y = y_1 + y_2 = \frac{3a - 2c_1 - c_2}{4b}$$

$$y_2 = \frac{a - 3c_2 + 2c_1}{4b}$$

$$p(y) = \frac{a + 2c_1 + c_2}{4}$$

Exemplo (continuação)

Caso $c_1 = c_2 = c$

$$y_1 = \frac{a - c}{2b}$$

$$y = y_1 + y_2 = \frac{3}{4} \frac{a - c}{b}$$

$$y_2 = \frac{a - c}{4b}$$

$$p(y) = \frac{a + 3c}{4}$$

Caso $c_2 = (a + 2c_1)/3$

$$y_1 = \frac{2}{3} \frac{a - c_1}{b}$$

$$y = y_1 + y_2 = \frac{2}{3} \frac{a - c_1}{b}$$

$$y_2 = 0$$

$$p(y) = \frac{a + 2c}{3}$$

Aplicação 2: O modelo de liderança preço

Descrição

- Duas empresas: líder e seguidora
- Produto homogêneo com demanda $x(p)$.
- A empresa líder deve decidir quanto produzir y_l e que preço praticar p .
- A seguidora escolhe o nível de produção y_s que torna máximo o seu lucro dado o preço anunciado pela líder. $y_s = y_s(p)$
- A emp. líder deve escolher p e y_l de modo a tornar seu lucro máximo, atendendo à condição de equilíbrio $y_l + y_s(p) = x(p)$.

Exemplo:

Dados

$$\text{Demanda: } x(p) = 1.000 - \frac{3}{4}p$$

$$\text{Função de custo da seguidora: } c_s = 2y_s^2$$

$$\text{Função de custo da líder: } \frac{y_l^2}{4}$$

A reação da seguidora

$$\max_{y_s} p y_s - 2y_s^2 \Rightarrow y_s(p) = \frac{p}{4}$$

Exemplo (cont.):

O problema da líder

$$\max_{y_l} py_l - \frac{y_l^2}{4}$$

Sujeita à restrição $y_l + y_s = x(p)$ ou

$$y_l + \frac{p}{4} = 1.000 - \frac{3}{4}p \Rightarrow p = 1.000 - y_l$$

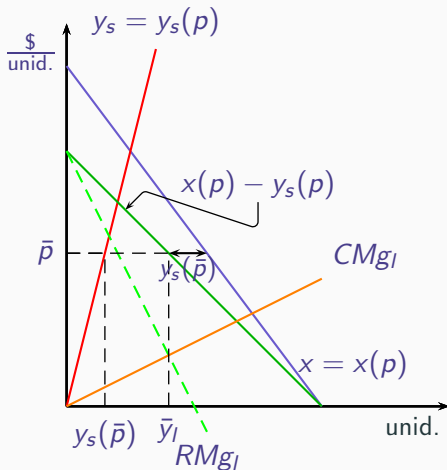
O que equivale ao problema

$$\max_{y_l} (1.000 - y_l)y_l - \frac{y_l^2}{4}$$

Solução

$$y_l = 400, p = 600, y_s = 150$$

Liderança preço: solução gráfica



O conjunto de informação

Definição

Um **conjunto de informação** é um conjunto de nós decisórios nos quais um jogador sabe que pode estar quando escolhe uma ação.

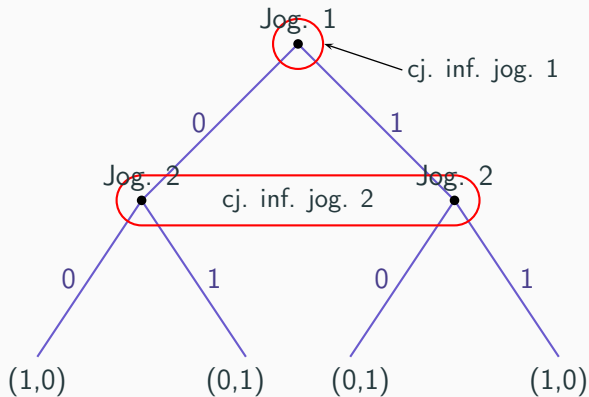
Comentários:

- Em jogos com informação perfeita, o conjunto de informação será sempre igual a um único nó.
- Em jogos com informação imperfeita, esse conjunto pode ser composto por dois ou mais nós que admitam as escolhas das mesmas ações.

Exemplo:

- Dois jogadores devem escrever, cada um, em um papel o número zero ou o número um.
- O segundo jogador escolhe seu número sem saber o número que o primeiro escolheu.
- Caso a soma dos números seja par, o jogador 1 ganha R\$ 1,00. Caso contrário o mesmo prêmio é pago ao jogador 2.

Exemplo (cont.):

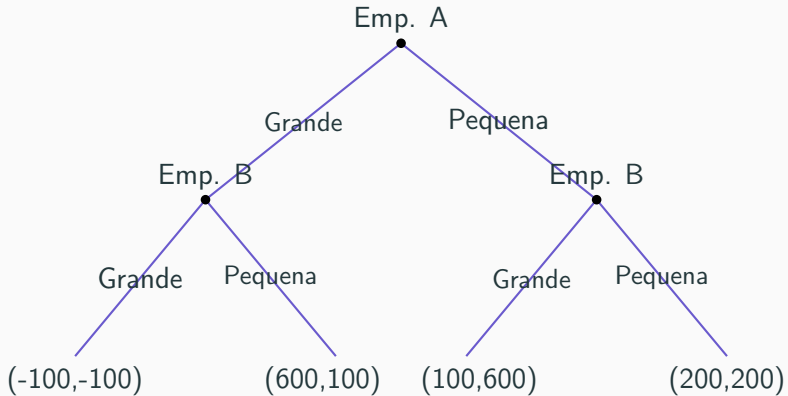


Jogos na forma estratégica

Definição

Uma **estratégia** é um conjunto de regras que dizem o que um jogador deve fazer em cada possível momento de decisão de um jogo, ou seja, uma estratégia associa uma ação a cada conjunto de informação de um jogador.

Exemplo: a escolha da capacidade produtiva



◀ retornar do desvio

Exemplo (cont.):

Estratégias da empresa A

G: Escolher grande.

P: Escolher pequena.

Estratégias da empresa B

GG: Escolher grande caso a empresa A escolha G e grande caso a empresa A escolha P.

GP: Escolher grande caso a empresa A escolha G e pequena caso a empresa A escolha P.

PG: Escolher pequena caso a empresa A escolha G e grande caso a empresa A escolha P.

PP: Escolher pequena caso a empresa A escolha G e pequena caso a empresa A escolha P.

Representação estratégica do jogo – exemplo:

		B			
		GG	GP	PP	PG
A	G	-100, -100	-100, -100	600, 100	600, 100
	P	100, 600	200, 200	200, 200	100, 600

← retornar do desvio

Exemplo

Duas empresas dividem um mercado. Cada uma delas deve decidir individualmente que política de preços irá adotar. As opções são: adotar preço baixo e adotar preço alto. Caso as duas empresas adotem preço baixo, cada uma terá um lucro de \$10 milhões por ano. Caso as duas pratiquem preço elevado, cada uma terá lucro anual de \$50 milhões. Caso um pratique preço baixo e a outra pratique preço elevado, aquela empresa que pratica preço baixo terá lucro de \$100 milhões ao ano e a que praticou preços elevados arcará com um prejuízo anual de \$50 milhões.

Representação do jogo na forma estratégica

		Emp. 2	
		P. baixo	P. elevado
Emp. 1	P. baixo	10, 10	100, -50
	P. elevado	-50, 100	50, 50

Estratégias Dominantes

Diz-se que um jogador possui uma **estratégia dominante** em um jogo quando essa estratégia gera o melhor resultado para esse jogador, independentemente de qual é a estratégia adotada pelo outro jogadores.

Equilíbrio com estratégias dominantes

Caso em um jogo os dois jogadores possuam estratégias dominantes, então a combinação dessas estratégias é chamada de um **equilíbrio com estratégias dominantes**.

Exemplo

		Emp. 2	
		P. baixo	P. elevado
Emp. 1	P. baixo	10, 10 ^{1,2}	100, -50 ¹
	P. elevado	-50, 100 ²	50, 50

¹ Estratégia da empresa 1 é melhor resposta.

² Estratégia da empresa 2 é melhor resposta.

- Preço baixo é estratégia dominante para a empresa 1.
- Preço baixo é estratégia dominante para a empresa 2.
- Preço baixo, preço baixo é um equilíbrio com estratégias dominantes.

O Dilema dos Prisioneiros

Dois parceiros de um crime são interrogados simultaneamente por agentes policiais. A cada um dos criminosos é contada a seguinte história: as provas que temos contra vocês nos permitem impor uma pena de 3 anos de prisão para cada um. Todavia, nós sabemos (mas não temos provas) que vocês participaram de um sequestro. Se você confessar a participação nesse crime, nós podemos atenuar sua pena da seguinte maneira. Se você confessar o sequestro e seu companheiro não confessar, sua pena será de apenas um ano e seu companheiro terá pena de 10 anos. A recíproca é verdadeira. Se ambos confessarem, todavia, não será possível atenuar tanto a pena e cada um de vocês será condenado a 6 anos de cadeia.

O Dilema dos Prisioneiros: Representação estratégica

		Pris. 2	
		Confessa	Não conf.
Pris. 1	Confessa	$-6, -6$ ^{1,2}	$-1, -10$ ¹
	N. Confessa	$-10, -1$ ²	$-3, -3$

¹ estratégia do prisioneiro 1 é melhor resposta

² estratégia do prisioneiro 2 é melhor resposta

Exemplo: disputas trabalhistas

Porcentagem de casos ganhos em disputas trabalhistas nos EUA

		Sindicato	
		C/ Advogado	S/ Advogado
Emp.	C/ Advogado	54,46 ^{E,S}	73,27 ^E
	S/ Advogado	23,77 ^S	56,44

^E Estratégia da empresa é melhor resposta

^S Estratégia do sindicato é melhor resposta

A batalha do Mar de Bismark: quando apenas um jogador possui estratégia dominante

		Marinha Japonesa	
		Norte	Sul
Força Aer. Americana	Norte	2 ^{A,J}	2 ^J
	Sul	1 ^J	3 ^A

^A Melhor resposta americana

^J Melhor resposta japonesa

Solução

- A marinha japonesa deve escolher norte.
- Sabendo disso, a força aérea americana escolherá norte.

Definição

Dizemos que ocorre um **equilíbrio de Nash** quando cada jogador dá a melhor resposta à estratégia adotada pelo outro jogador.

Exemplo: guerra de preços entre as pizzarias de um bairro

		Dom Pepe		
		Alto	Médio	Baixo
Zia Peppa	Alto	60, 60	36, 70 ^d	36, 35 ^z
	Médio	70, 36 ^z	50, 50 ^{z,d}	30, 35
	Baixo	35, 36 ^d	35, 30	25, 25

^z estratégia de Zia Peppa é melhor resposta

^d estratégia de Dom Pepe é melhor resposta

Múltiplos equilíbrio e coordenação

		Ele	
		Ballet	Futebol
Ela	Ballet	2, 1 ♀, ♂	0, 0
	Futebol	0, 0	1, 2 ♀, ♂

♀ Escolha dela é melhor resposta.

♂ Escolha dele é melhor resposta.

Múltiplos equilíbrios: ponto focal.

		U.R.S.S.	
		Controla	Constrói
U.S.A.	Controla	4, 4 ^{A,R}	1, 3
	Constrói	3, 1	2, 2 ^{A,R}

^A U.S.A. escolheram a melhor resposta

^R U.R.S.S. escolheram a melhor resposta

Exemplo: o jogo da metade da média

Dois jogadores devem escolher simultaneamente um número real maior ou igual a zero e menor ou igual a 100. Se o número escolhido por um jogador for igual à metade da média entre os dois números escolhidos, esse jogador ganhará um prêmio de R\$5.000,00.

Solução

Sejam x_1 o número escolhido pelo jogador 1 e x_2 o número escolhido pelo jogador 2. Para que x_1 seja a melhor escolha do jogador 1 dado x_2 é preciso que

$$x_1 = \frac{(x_1 + x_2)/2}{2} \Rightarrow x_1 = \frac{x_2}{3}. \quad (1)$$

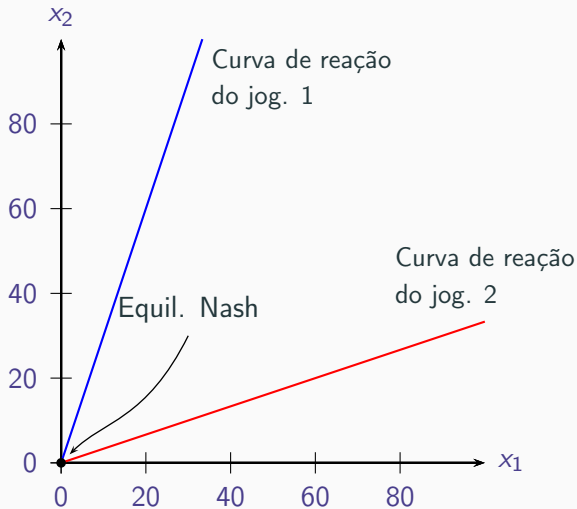
Para que x_2 seja a melhor escolha do jogador 2 dado x_1 é preciso que

$$x_2 = \frac{(x_1 + x_2)/2}{2} \Rightarrow x_2 = \frac{x_1}{3}. \quad (2)$$

O equilíbrio de Nash ocorre quando (1) e (2) ocorrem simultaneamente, ou seja quando

$$x_1 = x_2 = 0$$

Solução gráfica



Duopólio de Cournot com custo marginal constante e demanda linear.

Duas empresas são as únicas a produzir um determinado bem. Cada uma delas produz com um custo médio constante igual a c . A função de demanda por esse bem é dada por $p = a - b(y_1 + y_2)$ na qual p é o preço de demanda e y_1 e y_2 são as quantidades produzidas pelas empresas 1 e 2, respectivamente.

Solução: equilíbrio de Nash

Os lucros da empresa 1, π_1 , e da empresa 2, π_2 , são iguais a

$$\pi_1 = [a - b(y_1 + y_2)]y_1 - c y_1$$

$$\pi_2 = [a - b(y_1 + y_2)]y_2 - c y_2$$

As funções de melhor resposta dessas empresas serão, portanto

$$y_1 = \frac{a - c}{2b} - \frac{y_2}{2} \quad (3)$$

$$y_2 = \frac{a - c}{2b} - \frac{y_1}{2} \quad (4)$$

O equilíbrio de Nash é obtido quando (3) e (4) são simultaneamente verdadeiros, ou seja, quando

$$y_1 = y_2 = \frac{a - c}{3b}$$

Solução: equilíbrio de Nash (cont.)

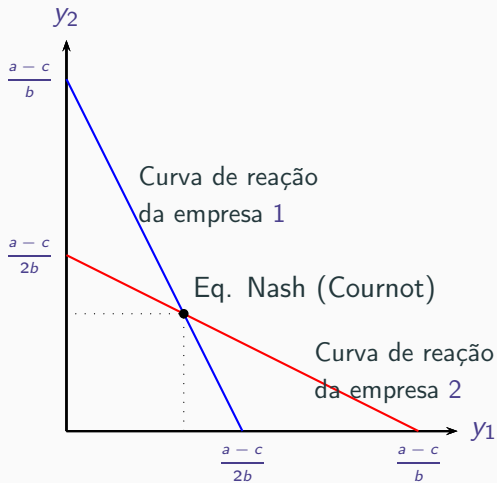
Substituindo $q_a = 3$ e $q_b = 3$ na função de demanda, obtemos o preço de equilíbrio.

$$p = a - b(y_1 + y_2) = a - 2b \frac{a - c}{3b} = \frac{a + 2c}{3}$$

Substituindo esses valores nas expressões do lucro de cada empresa, obtemos

$$\pi_1 = \frac{a + 2c}{3} \frac{a - c}{3b} - c \frac{a - c}{3b} = \frac{1}{9b} (a - c)^2$$
$$\pi_2 = \frac{a + 2c}{3} \frac{a - c}{3b} - c \frac{a - c}{3b} = \frac{1}{9b} (a - c)^2$$

Equilíbrio de Nash: Solução Gráfica



Modelo de Cournot: o caso geral

Considere agora o caso em que há n empresas, produzindo um bem homogêneo cuja função de demanda inversa é dada por

$$p = p(y)$$

com

$$y = \sum_{i=1}^n y_i$$

sendo y_i é o produto da empresa i e a função de custo da empresa i é

$$c_i(y_i), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Modelo de Cournot: o caso geral

A empresa i deve escolher y_i de modo a maximizar seu lucro

$$p \left(\sum_{j=1}^n y_j \right) y_i - c_i(y_i)$$

dado quanto é produzido pelas outras empresas. A condição de máximo de primeira ordem é

$$\begin{aligned} p + \frac{dp}{dy} y_i &= c'_i(y_i) \\ p \left(1 + \frac{dp}{dy} \frac{y}{p} \frac{y_i}{y} \right) &= c'_i(y_i) \\ p &= CMg_i \frac{1}{1 - \frac{s_i}{|\epsilon|}} \end{aligned}$$

Exemplo

Suponha que haja n empresas com custo médio constante e igual a c e que a função de demanda inversa seja

$$p(y) = a - by$$

em que a e b são constantes reais positivas e y é o total produzido pelo conjunto das empresas, $y = \sum_{i=1}^n y_i$. Nesse caso, o lucro de uma empresa i qualquer será dado por

$$\pi_i = (a - by)y_i - cy_i.$$

Exemplo (continuação)

A condição de lucro máximo é:

$$y_i = \frac{a - c}{b} - y.$$

Essa condição deve valer para todas empresas, portanto,

$$y_1 = y_2 = \dots = y_n = y^* = \frac{a - c}{b} - y.$$

$$y = \sum_{i=1}^n y_i = n y^*.$$

Assim,

$$y^* = \frac{1}{n+1} \frac{a - c}{b},$$

$$y = \frac{n}{n+1} \frac{a - c}{b} \quad \text{e} \quad p = \frac{a + n c}{n+1}.$$

Exemplo: ANPEC 2013 — Questão 13

Seja um modelo de Cournot com 44 empresas, em que a função de demanda do mercado seja dada por: $Q = 400 - 2q_i$ (sendo q_i a produção de cada uma das 44 empresas). Seja o custo total de cada empresa expresso pela função $C_i = 40q_i$. Quanto cada empresa produzirá em equilíbrio?

Obs: para fazer o exercício é preciso assumir que a função de demanda seja $P = 400 - 2Q$ na qual $Q = \sum_{i=1}^{44} q_i$ e q_i é a quantidade produzida pela empresa i , $i = 1, \dots, 44$.

Solução

Basta usar a fórmula derivada mais acima fazendo $n = 44$,
 $a = 100$, $b = 1$, $c = 40$ para obter

$$q^* = \frac{1}{45} \frac{400 - 40}{2} = 4.$$

Exemplo: ANPEC 2010 – Questão 11

Considere o modelo de Cournot, em que 49 empresas produzem um produto homogêneo. A empresa i produz de acordo com a função de custo $C(q_i) = 2q_i$, em que q_i é a quantidade produzida pela empresa i , com $i = 1, \dots, 49$. Suponha uma demanda de mercado dada por $p = 402 - 2Q$, em que p é o preço e $Q = \sum_{i=1}^{49} q_i$ é a quantidade total produzida pelas 49 empresas. Calcule a quantidade que cada empresa irá produzir no equilíbrio de Cournot.

Temos, novamente o caso de uma indústria cujas empresas idênticas têm o mesmo custo médio constante e cuja curva de demanda é linear. Podemos, novamente, aplicar nosso resultado:

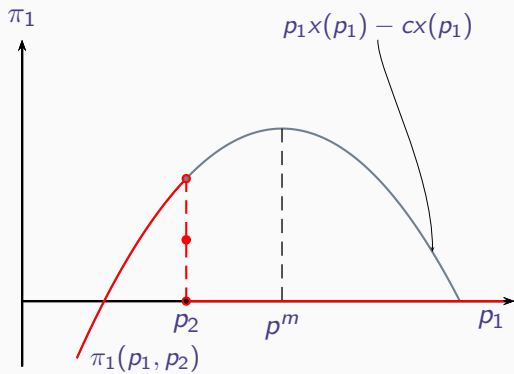
$$q^* = \frac{1}{50} \frac{402 - 2}{2} = 4.$$

O Modelo de Bertrand

- Duas empresas (1 e 2), cada uma deve escolher o preço de seu produto (p_1 e p_2).
- Produto Homogêneo
- Produção com rendimentos constantes de escala e custo médio constante igual a c
- Funções de demanda

$$\begin{bmatrix} x_1(p_1, p_2) \\ x_2(p_1, p_2) \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x(p_1) \\ 0 \end{bmatrix} & \text{caso } p_1 < p_2 \\ \begin{bmatrix} x(p_1)/2 \\ x(p_2)/2 \end{bmatrix} & \text{caso } p_1 = p_2 \\ \begin{bmatrix} 0 \\ x(p_2) \end{bmatrix} & \text{caso } p_1 > p_2 \end{cases}$$

O Modelo de Bertrand



Modelo de Bertrand

Empresa 1

$$p_1(p_2) = \begin{cases} p_m & \text{se } p_2 > p_m \\ ? & \text{se } p_2 \in (c, p_m] \\ p_1 \geq c & \text{se } p_2 = c \\ p_1 > p_2 & \text{se } p_2 < c \end{cases}$$

Empresa 2

$$p_2(p_1) = \begin{cases} p_m & \text{se } p_1 > p_m \\ ? & \text{se } p_1 \in (c, p_m] \\ p_2 \geq c & \text{se } p_1 = c \\ p_2 > p_1 & \text{se } p_1 < c \end{cases}$$

Equilíbrio de Nash

$$p_1 = p_2 = c$$

Bertrand com diferenciação de produto

Considere um modelo de Bertrand com diferenciação de produtos e duas empresas. A demanda da empresa 1 é dada por $q_1 = 100 - 2p_1 + p_2$ e a demanda da empresa 2 é dada por $q_2 = 100 - 2p_2 + p_1$, sendo p_1 o preço do produto da empresa 1 e p_2 o preço do produto da empresa 2. Suponha que o custo total da empresa 1 seja $C_1 = q_1$ e o custo total da empresa 2 seja $C_2 = q_2$. Determine o preço ao qual a empresa 1 irá vender o seu produto.

Resposta: 34.

Equilíbrio de Nash e jogos sequenciais

Exemplo: jogo da escolha de capacidade.

▶ Ver forma extensiva

Representação estratégica

		B			
		GG	GP	PP	PG
A	G	-100, -100	-100, -100	600, ^{A,B} 100	600, ^{A,B} 100
	P	100, ^{A,B} 600	200, ^A 200	200, 200	100, ^B 600

Equilíbrios de Nash

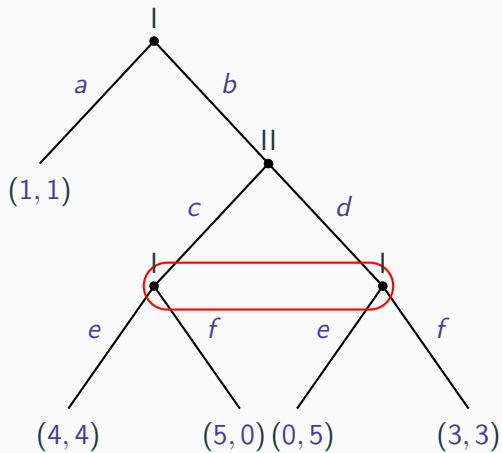
São três: $\{G, PP\}$, $\{G, PG\}$ e $\{P, GG\}$, mas apenas $\{G, PG\}$ é compatível com o princípio de indução retroativa.

▶ Rever a solução por ind. retroativa.

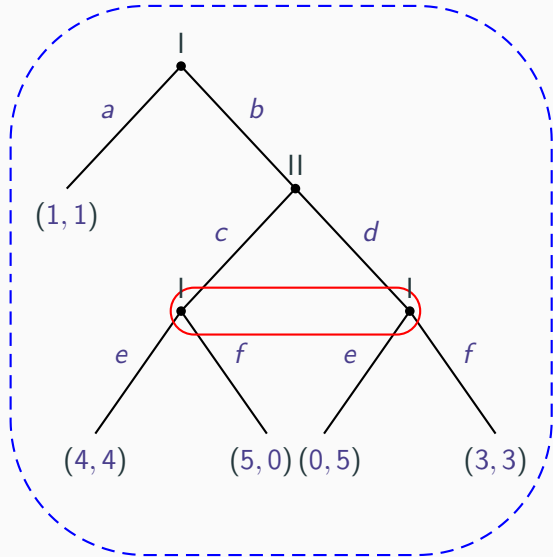
Um subjogo é uma parte de um jogo em forma extensiva com as seguintes propriedades:

1. Começa com um conjunto de informação contendo um único nó de decisão e contém todos os nós que são seus sucessores (imediatos ou não) e apenas esses nós.
2. Se um nó x faz parte de um conjunto de informação H e também faz parte de um subjogo, então todos os nodos de H também fazem parte desse subjogo.

Exemplo

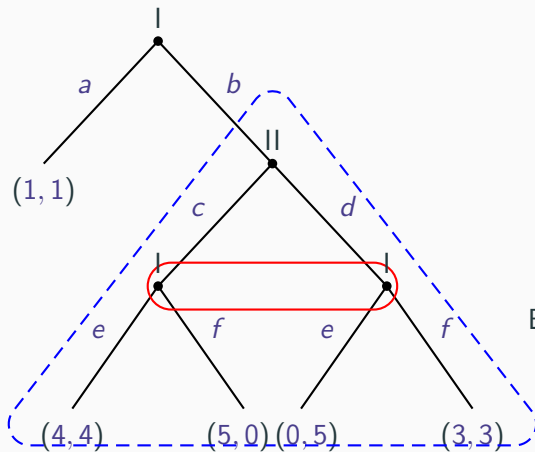


Exemplo



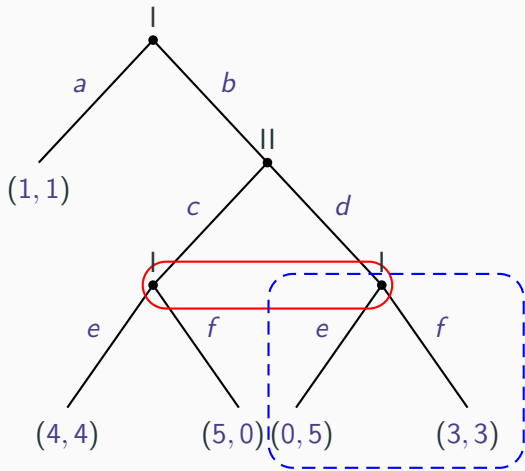
O jogo todo é um sub-jogo

Exemplo



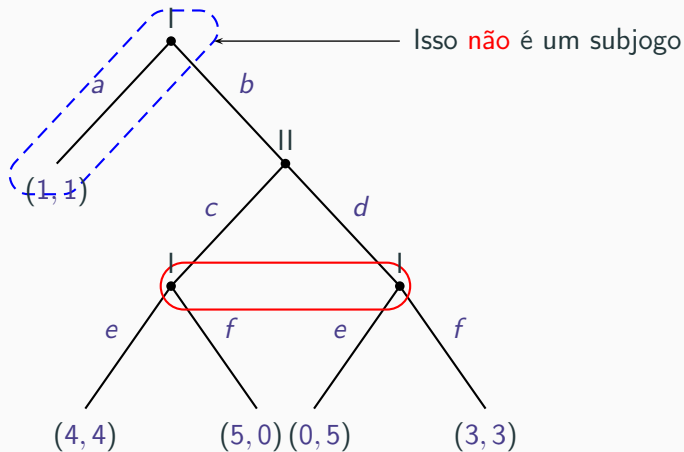
Esse é outro subjogo

Exemplo



Isso **não** é um subjogo

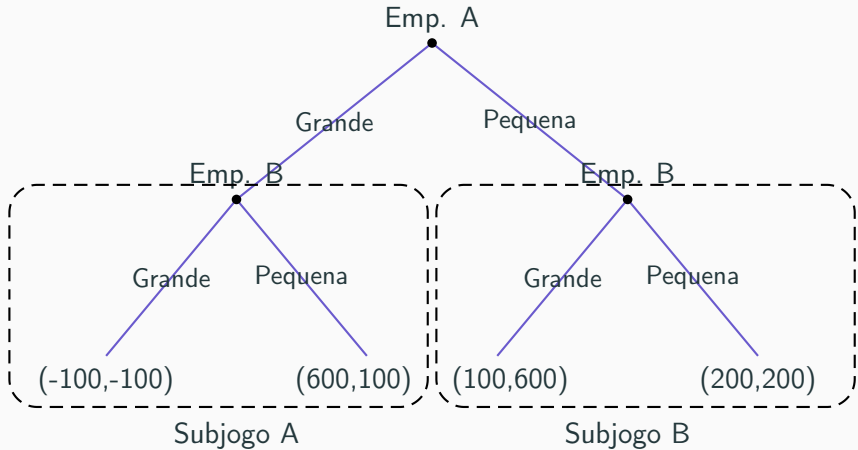
Exemplo



Definição

Uma combinação de estratégias é um equilíbrio de Nash perfeito de subjogos de um jogo caso ela induza um equilíbrio de Nash em todos os subjogos desse jogo.

Exemplo:



- P & GG** Induz equilíbrio de Nash no jogo e no subjogo B, mas não no subjogo A.
- G & PP** Induz equilíbrio de Nash no jogo e no subjogo A, mas não no subjogo B.
- G & PG** Induz equilíbrio de Nash no jogo, no subjogo A e no subjogo B. Logo, é o único equilíbrio de Nash perfeito de subjogos.

Jogos com repetição

Exemplo:Dilema dos prisioneiros com repetição

- Considere um jogo do tipo dilema dos prisioneiros jogado mais de uma vez.
- A repetição do jogo pode induzir à cooperação entre os jogadores, pois possibilita que o comportamento não cooperativo por parte de um jogador em uma repetição seja punido pelo outro jogador na repetição seguinte.
- Se o jogo é jogado um número finito e definido de vezes, pelo princípio da indução retroativa, não haverá cooperação.

Algumas possíveis estratégias

- Estratégia **bonzinho**: sempre cooperar.
- Estratégia **malvado**: nunca cooperar.
- Estratégia **trigger**: começar cooperando. Se o outro jogador deixar de cooperar em algum momento, nunca mais cooperar.
- Estratégia **tit-for-tat**: cooperar na primeira rodada. Nas outras rodadas repetir a estratégia do outro jogador na rodada anterior.

Exemplo: dilema dos prisioneiros com repetição

Alguns equilíbrios de Nash (supondo baixa taxa de desconto):

- Ambos escolhem a estratégia malvado.
- Ambos escolhem a estratégia trigger.
- Ambos escolhem a estratégia tit-for-tat.
- Um jogador escolhe tit-for-tat e o outro escolhe trigger.

Não são equilíbrios de Nash

- Ambos escolhem a estratégia bonzinho.
- Um jogador joga tit-for-tat (ou trigger) e o outro malvado.

O experimento de Robert Axelrod

Robert Axelrod é um cientista político da Universidade de Michigan. Ele pediu a diversos especialistas em teoria dos jogos que enviassem suas estratégias favoritas em um jogo do tipo dilema dos prisioneiros com repetição. Em um computador, ele simulou os resultados desse jogo confrontando todas as estratégias duas a duas. A estratégia com melhor performance foi a tit-for-tat.

Cartel em um jogo sem repetição

Um modelo

- n empresas produzem um produto homogêneo. As quantidades produzidas são y_i e as funções de custo são $c_i(y_i)$ ($i = 1, \dots, n$).
- A demanda inversa pelo produto é dada por $p(y)$ na qual $y = \sum_{i=1}^n y_i$

Objetivo do Cartel

$$\max_{y_1, \dots, y_n} p(y)y - \sum_{i=1}^n c_i(y_i)$$

com $y = \sum_{i=1}^n y_i$

Cartel em um jogo sem repetição

Condição de lucro máximo

$$p(y^*) + \frac{dp(y^*)}{dy} y^* \leq \frac{dc_j(y_j^*)}{dy_j} \quad j = 1, \dots, n$$

Com igualdade caso $y_i^* > 0$, sendo $y^* = \sum_{i=1}^n y_i^*$

Uma interpretação

Caso tenhamos $y_j^* > 0$ e $y_k^* > 0$, então

$$\frac{dc_j(y_j^*)}{dy_j} = \frac{dc_k(y_k^*)}{dy_k} \quad \text{ou} \quad CMg_j(y_j^*) = CMg_k(y_k^*)$$

Cartel em um jogo sem repetição

O lucro da empresa j no cartel é

$$\pi_j(y_1^*, \dots, y_n^*) = p(y^*)y_j^* - c_j(y_j^*)$$

Será vantajoso burlar o cartel caso $\partial\pi(y_1^*, \dots, y_n^*)/\partial y_j > 0$.

$$\frac{\partial\pi_j(y_1^*, \dots, y_n^*)}{\partial y_j} = p(y^*) + \frac{dp(y^*)}{dy}y_j^* - \frac{dc_j(y_j^*)}{dy_j}$$

A condição de ótimo é $\frac{dc_j(y_j^*)}{dy_j} = p(y^*) + \frac{dp(y^*)}{dy}y_j^*$. Logo,

$$\frac{\partial\pi_j(y_1^*, \dots, y_n^*)}{\partial y_j} = \underbrace{\frac{dp(y^*)}{dy}}_{<0} \underbrace{(y_j^* - y^*)}_{<0} > 0$$

Formação de cartel em um jogo com repetição

Termos

- π_i^* = lucro da empresa i no cartel.
- $\hat{\pi}_{i0}$ = Lucro imediato da empresa i caso ela abandone o cartel.
- $\hat{\pi}_i$ = Lucro posterior da empresa i caso ela abandone o cartel.
- r_i = taxa de desconto da empresa i

Condição para a estabilidade do cartel

$$\hat{\pi}_{i0} - \pi_i^* \leq \frac{\pi_i^* - \hat{\pi}_i}{r_i}$$

Exemplo:

- Duas empresas produzem um produto homogêneo com custo médio constante igual a c . Suas produções serão notadas por y_1 e y_2 .
- A função de demanda é dada por $p(y) = a - by$ na qual $y = y_1 + y_2$.

Equilíbrio de Cournot

Em cada período teremos

$$y_1 = y_2 = \frac{a - c}{3b}$$

e

$$\pi_1 = \pi_2 = \frac{1}{9} \frac{(a - c)^2}{b}$$

Solução de Cartel

Em cada período teremos

$$y_1 = y_2 = \frac{a - c}{4b}$$

e

$$\pi_1 = \pi_2 = \frac{1}{8} \frac{(a - c)^2}{b}$$

Exemplo (cont)

$$\begin{aligned} & \max_{y_1} \left[a - b \left(y_1 + \frac{a - c}{4b} \right) \right] y_1 - cy_1 \\ & \Rightarrow \begin{cases} \hat{y}_{10} = \frac{5}{8} \frac{a - c}{b} \\ \hat{\pi}_{10} = \frac{9}{64} \frac{(a - c)^2}{b} \end{cases} \end{aligned}$$

Exemplo (cont)

Estabilidade do cartel

Suponha que a empresa 2 jogue a seguinte estratégia do gatilho: começa produzindo a quantidade de Cartel. Caso a empresa 1 não faça o mesmo, ela passa a produzir a quantidade de Cournot. Nesse caso a condição de estabilidade do cartel será

$$\frac{9}{64} \frac{(a-c)^2}{b} - \frac{1}{8} \frac{(a-c)^2}{b} \leq \frac{1}{r} \left(\frac{1}{8} \frac{(a-c)^2}{b} - \frac{1}{9} \frac{(a-c)^2}{b} \right)$$

Isso ocorrerá caso

$$r \leq \frac{8}{9} \approx 88,89\%$$

Exemplo: Questão 14 — ANPEC 2013

Considere um cartel entre duas empresas. Diz-se que uma empresa coopera com o cartel quando restringe sua produção para aumentar os lucros do cartel, e diz-se que uma empresa não coopera quando ela mantém sua produção ao nível determinada pela solução de Cournot, ainda que a outra empresa coopere e restrinja a sua produção. Suponha que o lucro de uma delas quando não coopera e a outra empresa coopera é de \$1.600, que o lucro da empresa quando ambas cooperam com o cartel é de \$1.400, e que o lucro de cada uma das empresas se ambas não cooperarem é de \$1.200. Expresse em percentual o valor mínimo do fator de desconto para promover o sucesso do cartel, se ambas as empresas adotarem a estratégia gatilho.

Resposta: 50.

Estratégias mistas

Definição

Dizemos que um jogador escolhe uma estratégia mista quando ele sorteia a estratégia que irá adotar com probabilidades por ele definida.

Equilíbrio de Nash com estratégias mistas

Quando cada jogador escolheu uma estratégia mista que maximiza seu payoff esperado dada estratégia mista adotada pelo outro jogador, dizemos que ocorreu um equilíbrio de Nash em estratégias mistas.

Exemplo

		Ele	
		Ballet	Futebol
Ela	Ballet	2, 1 ♀, ♂	0, 0
	Futebol	0, 0	1, 2 ♀, ♂

♀ Escolha dela é melhor resposta.

♂ Escolha dele é melhor resposta.

Exemplo (continuação)

payoffs esperados

- Sejam π_1 e π_2 as probabilidades com que ela e ele, respectivamente escolhem ballet.
- O *payoff* esperado dela será

$$2\pi_1\pi_2 + (1 - \pi_1)(1 - \pi_2) = (3\pi_2 - 1)\pi_1 + 1 - \pi_2$$

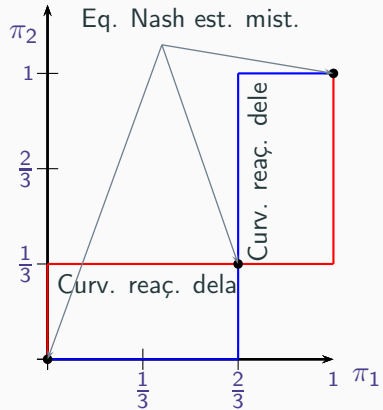
- O *payoff* esperado dele será

$$\pi_1\pi_2 + 2(1 - \pi_1)(1 - \pi_2) = (3\pi_1 - 2)\pi_2 + 2 - 2\pi_1$$

Exemplo (continuação)

$$\begin{aligned} \text{Ela: } \pi_1(\pi_2) &= \begin{cases} 0 & \text{caso } \pi_2 < \frac{1}{3} \\ [0, 1] & \text{caso } \pi_2 = \frac{1}{3} \\ 1 & \text{caso } \pi_2 > \frac{1}{3} \end{cases} \\ \text{Ele: } \pi_2(\pi_1) &= \begin{cases} 0 & \text{caso } \pi_1 < \frac{2}{3} \\ [0, 1] & \text{caso } \pi_1 = \frac{2}{3} \\ 1 & \text{caso } \pi_1 > \frac{2}{3} \end{cases} \end{aligned}$$

Exemplo



Exemplo

		B	
		B1	B2
A	A1	a_{11}, b_{11}	a_{12}, b_{12}
	A2	a_{21}, b_{21}	a_{22}, b_{22}

Sejam π_A probabilidade com que A escolhe $A1$ e π_B a probabilidade com que B escolhe B_1 , os ganhos esperados serão:

$$\mathbf{A:} \quad \pi_A[\pi_B a_{11} + (1 - \pi_B)a_{12}] + (1 - \pi_A)[\pi_B a_{21} + (1 - \pi_B)a_{22}]$$

$$\mathbf{B:} \quad \pi_B[\pi_A b_{11} + (1 - \pi_A)b_{21}] + (1 - \pi_B)[\pi_A b_{12} + (1 - \pi_A)b_{22}]$$

Exemplo

- se $\pi_B a_{11} + (1 - \pi_B)a_{12} > \pi_B a_{21} + (1 - \pi_B)a_{22}$, a melhor resposta do jogador A será escolher $\pi_A = 1$.
- se $\pi_B a_{11} + (1 - \pi_B)a_{12} < \pi_B a_{21} + (1 - \pi_B)a_{22}$, a melhor resposta do jogador A será escolher $\pi_A = 0$.

Assim, A terá como melhor resposta uma estratégia mista não degenerada (com $\pi_A \neq 0$ e $\pi_A \neq 1$) apenas caso.

$$\pi_B a_{11} + (1 - \pi_B)a_{12} = \pi_B a_{21} + (1 - \pi_B)a_{22}$$

De modo análogo, B terá como melhor resposta uma estratégia mista não degenerada apenas no caso que

$$\pi_A b_{11} + (1 - \pi_A)b_{21} = \pi_A b_{12} + (1 - \pi_A)b_{22}$$

Exemplo

O equilíbrio de Nash com estratégias mistas não degeneradas é encontrado resolvendo para π_A e π_B o sistema

$$\begin{cases} \pi_B a_{11} + (1 - \pi_B)a_{12} = \pi_B a_{21} + (1 - \pi_B)a_{22} \\ \pi_A b_{11} + (1 - \pi_A)b_{21} = \pi_A b_{12} + (1 - \pi_A)b_{22} \end{cases}$$

obtendo-se as probabilidades de equilíbrio de Nash:

$$\pi_A = \frac{b_{22} - b_{21}}{b_{11} + b_{22} - (b_{12} + b_{21})} \quad \text{e} \quad \pi_B = \frac{a_{22} - a_{12}}{a_{11} + a_{22} - (a_{12} + a_{21})}$$

Exemplo

		B	
		B1	B2
A	A1	10, 2	2, 10
	A2	5, 5	10, 2

Sejam π_A probabilidade com que A escolhe $A1$ e π_B a probabilidade com que B escolhe B_1 , no equilíbrio de Nash em estratégias mistas essas probabilidades serão:

$$\pi_B = \frac{10 - 2}{10 + 10 - (2 + 5)} = \frac{8}{13} \quad \text{e} \quad \pi_A = \frac{2 - 5}{2 + 2 - (10 + 5)} = \frac{3}{11}$$

Exercícios

ANPEC 2009 – Questão 12

		Jogador 2	
		coopera	não coopera
Jogador 1	coopera	1, 1	-1, 2
	não coopera	2, -1	0, 0

O jogo acima é repetido infinitas vezes. Seja δ^* o menor fator de desconto intertemporal que permite implementar a lista de estratégias Pareto-eficientes como equilíbrio perfeito de subjogo, em que a não-cooperação é punida com o equilíbrio de Nash Pareto-dominado para sempre. Calcule $100 \times \delta^*$ (isto é, cem vezes δ^*).

$$\delta^* = \frac{1}{2}$$

ANPEC 2015 — Questão 3

Um Professor Pobre (PP) encontra em um restaurante seu colega de mestrado, o Banqueiro Bem de Vida (BB). Eles pretendem honrar a tradição de repartir a conta ao meio, embora PP priorize a economia de gastos e BB a sofisticação da comida. Cada um pode pedir um prato barato (b) ou caro (c). Os pay-offs da tabela representam a utilidade ordinal dos resultados para ambos. O garçom anota o pedido de BB em primeiro lugar.

		PP	
		c	b
BB	c	2,0	3,1
	b	0,2	1,3

Julgue as proposições abaixo:

ANPEC 2015 — Questão 3 (continuação)

0. A representação estratégica do jogo sequencial, admitindo que uma estratégia seja definida por uma lista completa de escolhas, nos mostra três equilíbrios de Nash. F
1. O equilíbrio de Nash perfeito em sub-jogos é definido como $\{c; bb\} = \{\text{caro; barato caso BB escolha caro, barato caso BB escolha barato}\}$. V
2. Não surtiria efeito se PP desviasse de seus interesses, em uma ameaça para induzir BB a escolher b. V
3. Caso o garçom anote primeiro o pedido de PP, o equilíbrio de Nash perfeito em sub-jogos será definido como $\{b; bc\}$. F
4. Caso o jogo fosse simultâneo, teríamos um equilíbrio de Nash em estratégias mistas, com PP escolhendo b com probabilidade dois terços. F

ANPEC 2015 — Questão 13

Seja um jogo estritamente competitivo em um mercado com apenas duas empresas, em que a empresa 1 pode adotar uma entre quatro estratégias de vendas possíveis: A, B, C e D; e a empresa 2 também pode adotar uma entre quatro estratégias de vendas possíveis: R, S, T e U. A parcela de mercado da empresa 1 se encontra descrita na tabela abaixo, de acordo com a estratégia de venda que ela e a empresa 2 escolherem. Responda qual será a parcela de mercado da empresa 2 no ponto de sela, expressando o valor em porcentagem.

ANPEC 2015 — Questão 13

Empresa 1	Empresa 2			
	R	S	T	U
A	10	20	15	30
B	40	30	50	55
C	35	25	20	40
D	25	15	35	60

Resposta: 70.

ANPEC 2015 — Questão 15

Calcule a quantidade que a empresa seguidora produz em um equilíbrio de Stackelberg, em que a função de demanda do mercado é dada por $p = 122 - 0,5(q_1 + q_2)$, sendo p o preço de mercado, q_1 a quantidade produzida pela líder e q_2 a quantidade produzida pela seguidora, e as curvas de custo de líder e seguidora são, respectivamente,

$$C_1 = 2q_1 \text{ e } C_2 = 2q_2.$$

Resposta: 60

ANPEC 2014 — Questão 13

Duas empresas estão decidindo se adotam campanhas publicitárias agressivas, em que buscam roubar clientes da concorrente, ou moderadas, em que apenas divulgam seus produtos. Suas recompensas se encontram descritas no jogo abaixo:

		Empresa B	
		Campanha Agressiva	Campanha Moderada
Empresa A	Camp. Agressiva	-100, -100	10, -10
	Camp. Moderada	-10, 10	0, 0

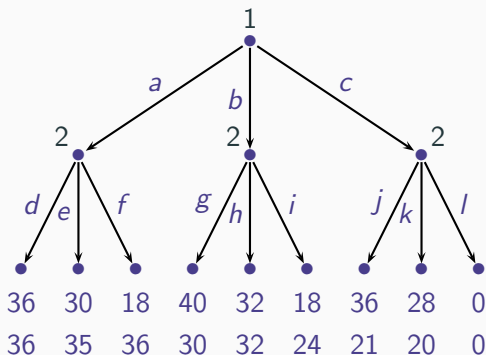
Com relação ao jogo acima, indique quais das afirmações abaixo são verdadeiras e quais são falsas:

ANPEC 2014 — Questão 13 (continuação)

- 0. Trata-se de um jogo estritamente competitivo; F
- 1. No equilíbrio em estratégias mistas, a empresa B faz campanha agressiva com 10% de probabilidade; V
- 2. Há dois equilíbrios em estratégias puras; V
- 3. Não há nenhum equilíbrio em estratégias mistas; F
- 4. A recompensa esperada da empresa B é -1 . V

ANPEC 2005 – Questão 11

Com base no jogo na forma extensiva apresentado abaixo, é correto dizer que:



ANPEC 2005 – Questão 11

0. O perfil de estratégias $(a, (d, h, k))$ corresponde a um equilíbrio perfeito em subjogos desse jogo. **F**
1. O perfil de estratégias $(b, (f, h, l))$ corresponde a um equilíbrio de Nash desse jogo. **V**
2. Todo equilíbrio de Nash desse jogo é um equilíbrio perfeito em subjogos. **F**
3. O perfil de estratégias $(c, (f, h, j))$ corresponde a um equilíbrio perfeito em subjogos desse jogo. **V**
4. Todo jogo na forma extensiva com informação completa possui um único equilíbrio perfeito em subjogos, que pode ser obtido pelo algoritmo de indução retroativa. **F**