

# Teoria da Decisão II

**Atividade:**  
**Programação Linear**

**Problema de alocação de recursos: Produção de cimento**  
**Emmanuel Sader Filho**

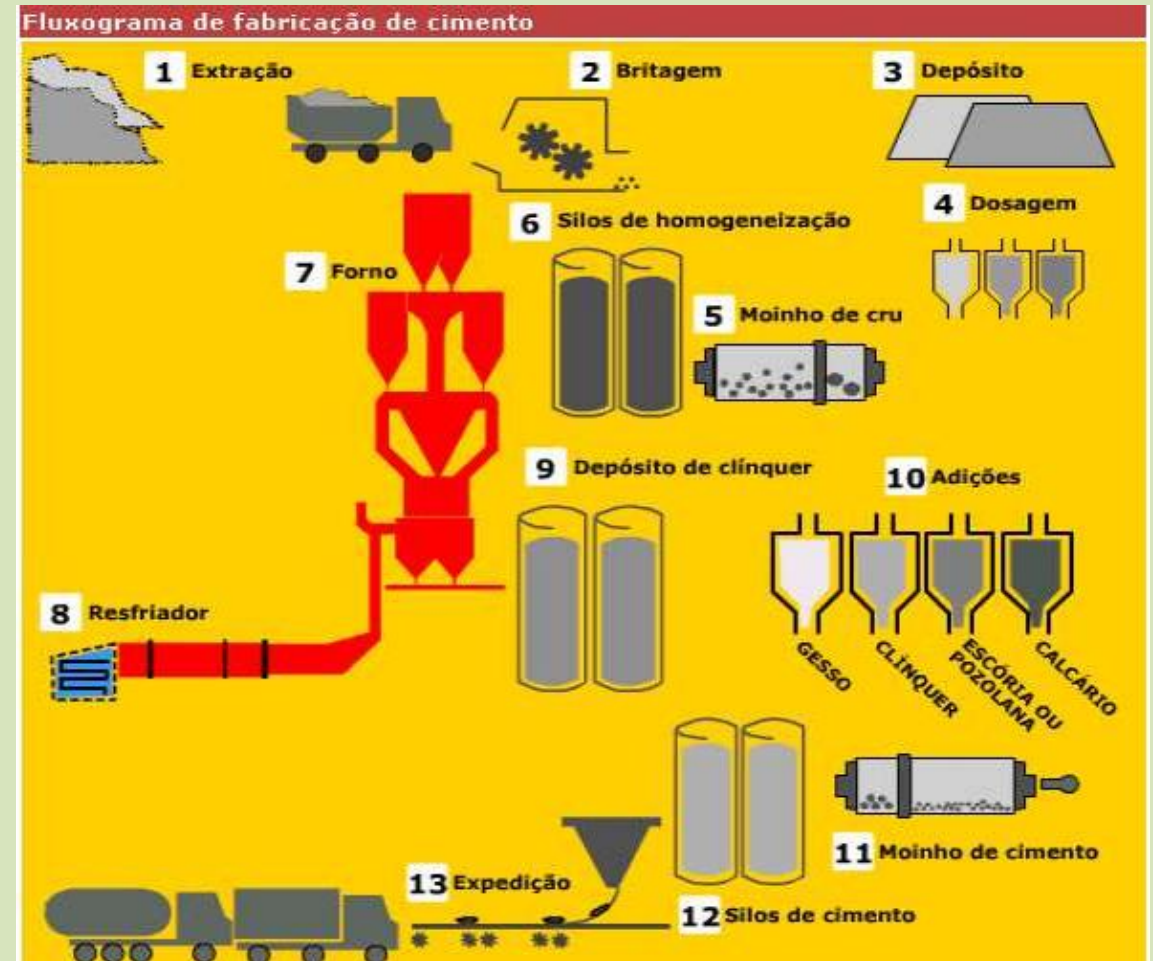
**Professores: Luciane e Orlando**

**UFF**

**Abril/2022**

# Apresentação do problema

O estudo em questão busca solucionar um problema típico de programação linear relativo ao planejamento de produção de uma indústria cimenteira na perspectiva de proporcionar o melhor resultado financeiro possível.



# INFORMAÇÕES GERAIS

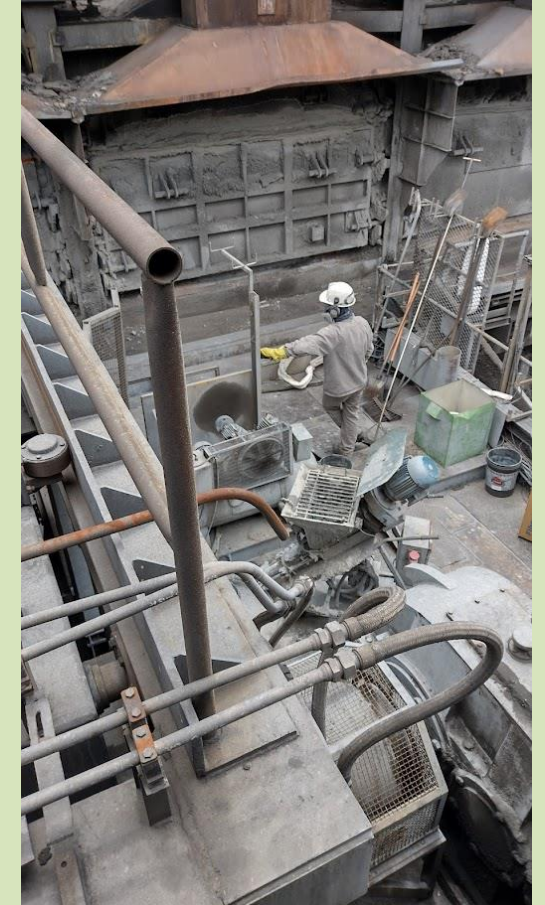
## COMPOSIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND:

De acordo com ABCP (2002) em seu Boletim Técnico (BT-106), o cimento portland é composto de clínquer e de adições, sendo o clínquer o principal componente e que está presente em todos os tipos de cimento portland, e o que define os diferentes tipos de cimento são as adições, podendo estas variar em cada tipo de cimento.

# INFORMAÇÕES GERAIS

## COMPOSIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND:

- Clinquer;
- Adições
  - Gessos;
  - Escória de alto forno;
  - Materiais Pozolânicos;
  - Materiais Carbonáticos





# II INFORMAÇÕES GERAIS

## Baterias de fornos de produção de clínquer na Ternium





# INFORMAÇÕES GERAIS



# INFORMAÇÕES GERAIS

## 2.1.4 TIPOS DE CIMENTOS

### 2.1.4.1. CIMENTO PORTLAND COMUM E COMPOSTOS

A ABCP (2002) informa que o primeiro cimento portland lançado no mercado brasileiro foi o CP, que atualmente corresponderia ao CPI, que é um tipo de cimento comum sem qualquer adição além de gesso. Já os cimentos compostos, tem sua composição entre os cimentos portland comuns e os com adições. Atualmente os cimentos compostos representam aproximadamente 75% da produção industrial brasileira, e são utilizados na maioria das aplicações. O Quadro 2 a seguir demonstra as composições dos cimentos portland comuns e compostos.

# INFORMAÇÕES GERAIS

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)	
Comum	CP I CP I-S	100 99-95	- 1-5			NBR 5732
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	

Quadro 2: Composição dos Cimentos Portland Comuns e Compostos  
 Fonte: ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland (2002).



## INFORMAÇÕES GERAIS

### 2.1.4.2. CIMENTO PORTLAND DE ALTO FORNO E POZOLÂNICO

O consumo de energia durante a produção de cimento é muito alto, desta forma, a indústria cimenteira foi motivada a busca de medidas para diminuir este consumo energético, e entre vários materiais analisados, as escórias de granuladas de alto forno e os materiais pozolânicos obtiveram sucesso. Com isso surgiram os cimentos portland de alto-forno e os pozolânicos.

## INFORMAÇÕES GERAIS

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736

Quadro 3 - Composição dos Cimentos Portland de Alto-Forno e Pozolânicos

Fonte: ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland (2002).

Ativa

## INFORMAÇÕES GERAIS

### 2.1.4.3. CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL

Mesmo que tenha uma norma separada pela ABNT, o cimento portland de alta resistência inicial é um tipo particular do cimento portland comum, mas que atinge altas resistências já nos primeiros dias de aplicação.

Esta alta resistência inicial é conseguida pela dosagem diferente de calcário e argila na produção de clínquer, e também a moagem mais fina do cimento, desta maneira, quando reage com água, adquire altas resistências com maior velocidade. O Quadro 4 demonstra a composição do cimento portland de alta resistência inicial.



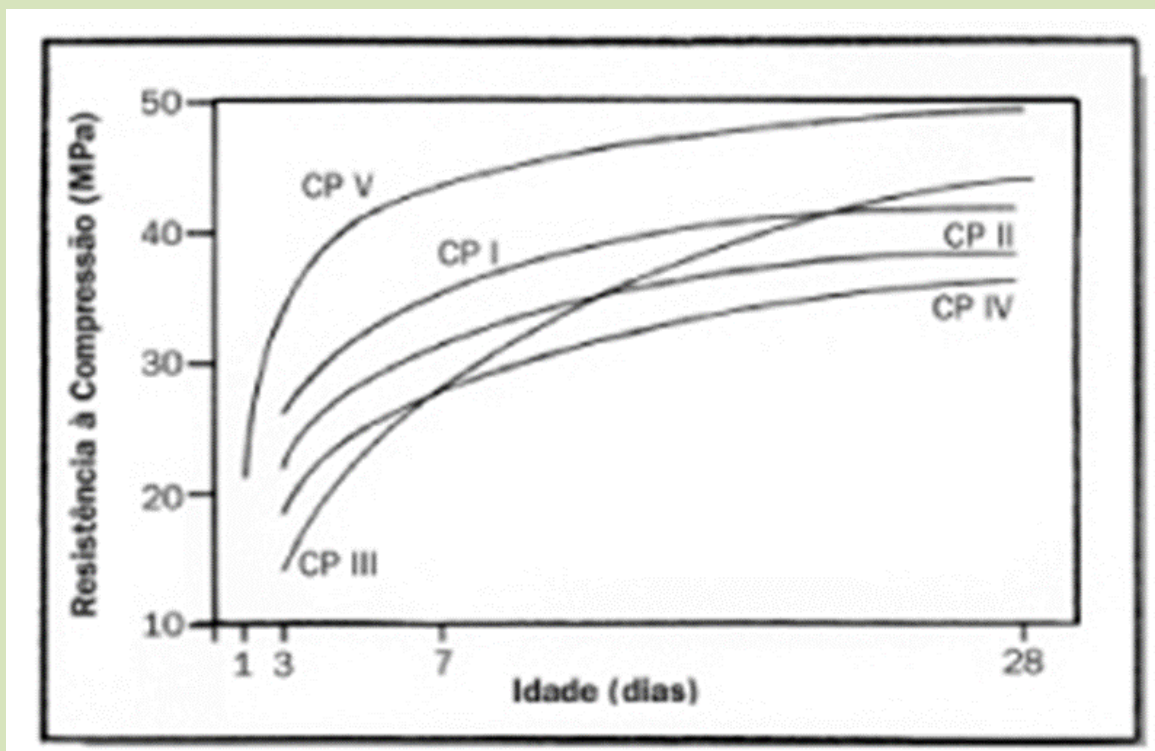
# INFORMAÇÕES GERAIS

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)		Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Material carbonático	
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95	0-5	NBR 5733

Quadro 4 - Composição do Cimento Portland de Alta Resistência Inicial  
Fonte: ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland (2002).

# INFORMAÇÕES GERAIS

COMPARATIVO DAS CURVAS DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO CONFORME O TIPO DE CIMENTO



# APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Busca-se resolver um problema de programação linear sobre o planejamento de produção de uma indústria cimenteira na perspectiva de proporcionar o melhor resultado financeiro possível.





## DADOS

Esta indústria pode produzir até três tipos de cimento (Cimento A, Cimento B e Cimento C) e as tabelas a seguir demonstram os requisitos necessários para a fabricação dos mesmos.

A tabela 1 demonstra os percentuais de adição dos componentes em cada tipo de cimento produzido (Limitações de Utilização).

COMPONENTES (%)	CIMENTO		
	A	B	C
Clinker	51%	27%	90%
Escória de Alto Forno	34%	65%	0%
Gesso	5%	3%	5%
Material Carbonático	10%	5%	5%
Aditivo	0%	0%	0%

Tabela 1: Composição dos Cimentos Produzidos  
Fonte: Os Autores (2015)

## DADOS

A tabela 2 a seguir demonstra a capacidade anual de produção de clínquer da indústria em estudo (Limitação de Produção de Clinquer).

<b>PRODUÇÃO CLINQUER</b>	<b>PROD./DIA (t)</b>	<b>DIAS FUNC. (Ano)</b>	<b>PRODUÇÃO ANO (t)</b>
Forno (A)	1.800	300	540.000
Forno (B)	1.800	300	540.000
Forno (C)	2.000	100	200.000
<b>Total</b>			<b>1.280.000</b>

Tabela 2: Capacidade Anual de Produção de Clínquer  
Fonte: Os Autores (2015)

## DADOS

A tabela 3 em seguida demonstra a capacidade anual de produção de cimento da indústria (Limitação de Produção de Cimento).

PRODUÇÃO CIMENTO	PRODUTIVIDADE (t/h)	HORAS FUNC. (h/Dia)	DIAS FUNC.	PRODUÇÃO ANO (t)
Moinho 1	100	19	300	570.000
Moinho 2	100	19	300	570.000
Moinho 3	100	18	300	540.000
Total				1.680.000

Tabela 3: Capacidade Anual de Produção de Cimento  
Fonte: Os Autores (2015)

Ativar o Wind  
Acesse Configuraç



## DADOS

A tabela 4 ilustra os limites máximos de disponibilidade de compra de escória de alto forno, gesso, material carbonático e aditivo. A tabela 4 ilustra os limites máximos de disponibilidade de compra de escória de alto forno, gesso, material carbonático e aditivo.

QTDES CONSUMIDAS	LIMITE MÁXIMO
Escória de Alto Forno	900.000
Gesso	100.000
Material Carbonático	300.000
Aditivo	50.000

Tabela 4: Disponibilidade de Compra de Insumos / Matérias Primas  
Fonte: Os autores (2015)

# DADOS

Outra limitação que o problema apresenta é a quantidade de clínquer que poderá ser vendida a terceiros e não ser utilizada na fabricação de cimento. A tabela 5 a seguir demonstra esta informação.

CONTRIBUIÇÃO MARGINAL	R\$/t
Cimento A	42,00
Cimento B	60,00
Cimento C	12,00
Clinquer	32,00

Tabela 6: Contribuição Marginal dos Produtos Vendidos  
Fonte: Os Autores (2015)

LIMITAÇÃO VENDA CLINQUER	t
Clinquer	400.000

Tabela 5: Limitação de Venda de Clínquer a Terceiros.  
Fonte: Os Autores (2015)

A tabela 6 demonstra a contribuição marginal de cada tipo de cimento produzido por esta indústria e também a contribuição do clínquer vendido. A contribuição marginal, de acordo com Andrade (2009) é a receita líquida menos os custos fixos e variáveis e no exemplo proposto foi excluído dos custos variáveis os componentes constantes na tabela 4.

## DADOS

O preço de compra de cada insumo que foi excluído dos custos variáveis para o cálculo da contribuição marginal ilustrada na tabela 6 está demonstrado na tabela 7 a seguir.

<b>PREÇOS INSUMOS</b>	<b>R\$/t</b>
Escória de Alto Forno	60,00
Gesso	120,00
Material Carbonático	30,00
Aditivo	15,00

Tabela 7: Preços Insumos  
Fonte: Os Autores (2015)



# FUNÇÃO OBJETIVO

A partir das contribuições marginais de cada cimento e do clínquer e deduzindo o custo das matérias primas e insumos utilizados a função objetivo representara o lucro liquido total.

LIMITAÇÃO VENDA CLINQUER t

Clinquer 400.000

CONTRIBUIÇÃO MARGINAL R\$/t

Cimento A 42,00

Cimento B 60,00

Cimento C 12,00

Clinquer 32,00

PREÇOS INSUMOS R\$/t

Escória de Alto Forno 60,00

Gesso 120,00

Material Carbonático 30,00

Aditivo 15,00

$$\text{MAX} = 42,00 \cdot X_1 + 60,00 \cdot X_2 + 12,00 \cdot X_3 + 32,00 \cdot X_4 - 60,00 \cdot (34\% \cdot X_1 + 65\% \cdot X_2 + 0\% \cdot X_3) - 120,00 \cdot (5\% \cdot X_1 + 3\% \cdot X_2 + 5\% \cdot X_3) - 30,00 \cdot (10\% \cdot X_1 + 5\% \cdot X_2 + 5\% \cdot X_3) - 15,00 \cdot (0\% \cdot X_1 + 0\% \cdot X_2 + 0\% \cdot X_3)$$

# VARIÁVEIS

As variáveis são compostas pelas quantidades de cimento e clínquer a serem produzidos e/ou vendidos e são demonstrados da seguinte forma:

X1– Quantidade de Cimento A;

X2 – Quantidade de Cimento B;

X3 – Quantidade de Cimento C;

X4 – Quantidade de Clínquer.

## RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO

Será composta pela soma dos resultados obtidos da multiplicação da quantidade produzida de cada tipo de cimento pelos percentuais de utilização de cada um dos insumos/matérias primas.

Escória de Alto Forno	$34\% \cdot X_1$	+	$65\% \cdot X_2$	+	$0\% \cdot X_3$	$\leq 900.000$
Gesso	$5\% \cdot X_1$	+	$3\% \cdot X_2$	+	$5\% \cdot X_3$	$\leq 100.000$
Material Carbonático	$10\% \cdot X_1$	+	$5\% \cdot X_2$	+	$5\% \cdot X_3$	$\leq 300.000$
Aditivo	$0\% \cdot X_1$	+	$0\% \cdot X_2$	+	$0\% \cdot X_3$	$\leq 50.000$

# RESTRIÇÕES DE UTILIZAÇÃO

## RESTRIÇÃO DA VENDA DE CLÍNQUER

A venda de clínquer é referente a quantidade máxima vendida a outro fabricantes de cimento. E é expressa conforme abaixo.

$$\text{Venda de Clínquer } X4 \leq 400.000$$

## RESTRIÇÃO DE PRODUÇÃO

As funções abaixo representam o limite máximo de produção de cimento e o consumo máximo de clínquer somado com a quantidade de clínquer vendida a outros fabricantes de cimento.

$$\text{Cimento } X1 + X2 + X3 \leq 1.680.000$$

$$\text{Clínquer } 51\% \cdot X1 + 27\% \cdot X2 + 90\% \cdot X3 + X4 \leq 1.280.000$$



# RESTRIÇÕES DE UTILIZAÇÃO

Variáveis de decisão:

- X1 – Quantidade de Cimento A;
- X2 – Quantidade de Cimento B;
- X3 – Quantidade de Cimento C;
- X4 – Quantidade de Clínquer.

$$\text{MAX} = 42,00 \cdot X_1 + 60,00 \cdot X_2 + 12,00 \cdot X_3 + 32,00 \cdot X_4 - 60,00 \cdot (34\% \cdot X_1 + 65\% \cdot X_2 + 0\% \cdot X_3) - 120,00 \cdot (5\% \cdot X_1 + 3\% \cdot X_2 + 5\% \cdot X_3) - 30,00 \cdot (10\% \cdot X_1 + 5\% \cdot X_2 + 5\% \cdot X_3) - 15,00 \cdot (0\% \cdot X_1 + 0\% \cdot X_2 + 0\% \cdot X_3)$$

Sujeito a:

Escória de Alto Forno	$34\% \cdot X_1$	+	$65\% \cdot X_2$	+	$0\% \cdot X_3$	$\leq 900.000$
Gesso	$5\% \cdot X_1$	+	$3\% \cdot X_2$	+	$5\% \cdot X_3$	$\leq 100.000$
Material Carbonático	$10\% \cdot X_1$	+	$5\% \cdot X_2$	+	$5\% \cdot X_3$	$\leq 300.000$
Aditivo	$0\% \cdot X_1$	+	$0\% \cdot X_2$	+	$0\% \cdot X_3$	$\leq 50.000$

$$\text{Venda de Clínquer } X_4 \leq 400.000$$

$$\text{Cimento } X_1 + X_2 + X_3 \leq 1.680.000$$

$$\text{Clínquer } 51\% \cdot X_1 + 27\% \cdot X_2 + 90\% \cdot X_3 + X_4 \leq 1.280.000$$

X1,x2,x3 e x4 positivos

# RESTRIÇÕES DE UTILIZAÇÃO

Variáveis de decisão:

X1– Quantidade de Cimento A;

X2 – Quantidade de Cimento B;

X3 – Quantidade de Cimento C;

X4 – Quantidade de Clínquer.

$$\text{MAX} = 12,66 \cdot X1 + 15,9 \cdot X2 + 4,5 \cdot X3 + 32,00 \cdot X4$$

Sujeito a:

$$\text{Escória de Alto Forno} \quad 0.34 X1 + 0.65 X2 + 0.00 X3 \leq 900.000$$

$$\text{Gesso} \quad 0.05 X1 + 0.03 X2 + 0.05 X3 \leq 100.000$$

$$\text{Material Carbonático} \quad 0.10 X1 + 0.05 X2 + 0.05 X3 \leq 300.000$$

$$\text{Aditivo} \quad 0.00 X1 + 0.00 X2 + 0.00 X3 \leq 50.000$$

$$\text{Venda de Clínquer } X4 \leq 400.000$$

$$\text{Cimento } X1 + X2 + X3 \leq 1.680.000$$

$$\text{Clínquer } 51\% \cdot X1 + 27\% \cdot X2 + 90\% \cdot X3 + X4 \leq 1.280.000$$

X1,x2,x3 e x4 positivos