PLANOS DE CORTE

$$P: \min \; c^t x$$
$$\text{s.a.} \; x \in S,$$

ONDE $S \subset R^n$ É UM CONJUNTO CONVEXO E FECHADO.

OBSERVE QUE UM PROBLEMA

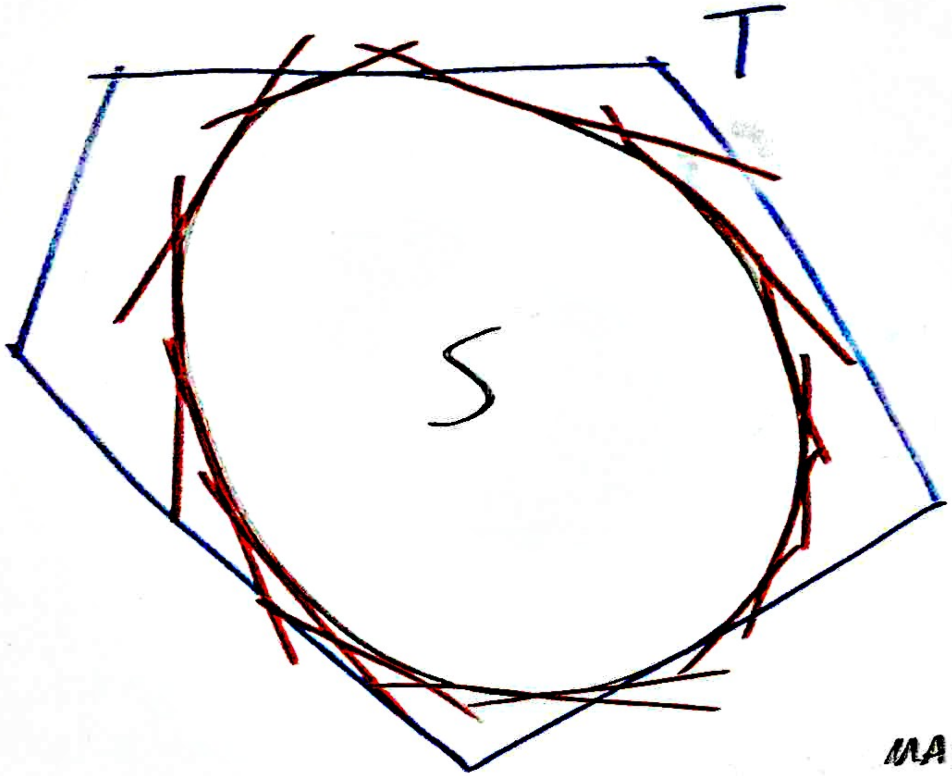
$$\min \; f(y)$$
$$\text{s.a.} \; y \in R$$

, R CONVEXO E FECHADO, f CONVEXA

PODE SER REESCRITO COMO

$$\min \; r$$
$$\text{s.a.} \; f(y) - r \leq 0, \; y \in R.$$

AQUI, $S = \{x = (y, r) \,;\, f(y) - r \leq 0, \; y \in R\}$.



S CONVEXO, FECHADO

$\Downarrow$

$\exists T$ POLIEDRAL TAL QUE

$S \subset T$.

MAIS AINDA,

$$S = \bigcap_{i \in I} \{ x \in \mathbb{R}^n ;\ a_i^t x \leq b_i \},$$

I CONJUNTO INFINITO DE ÍNDICES.

O MÉTODO DE PLANOS DE CORTE CONSISTE EM GERAR HIPERESPAÇOS $\{x \in \mathbb{R}^n \, ; \, a_i^t x \leq b_i\}$ DE MODO A APROXIMAR S.

NOTE QUE O PROBLEMA QUE APROXIMA P É UM PL:

$$\min \; c^t x$$
$$\text{s.a.} \quad a_i^t x \leq b_i \, , \quad i \in \overline{\overline{I}} \, ,$$

ONDE $\overline{\overline{I}}$ É FINITO.

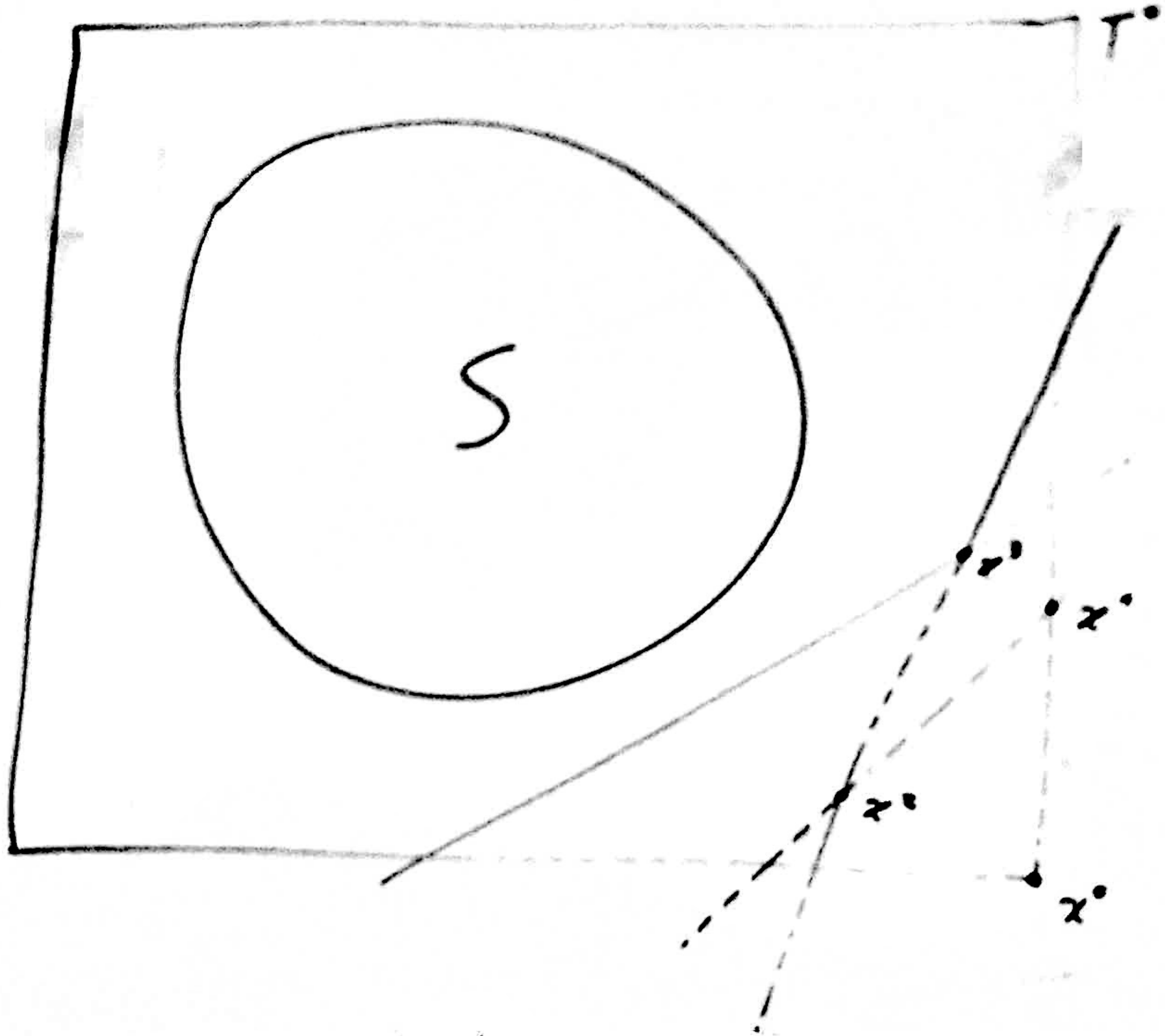
OBSERVE QUE O NÚMERO DE RESTRIÇÕES AUMENTA, MAS O NÚMERO DE VARIÁVEIS PERMANECE CONSTANTE, O QUE NOS LEVA A UTILIZAR O DUAL DO P.L. (DUAL SIMPLEX).

ESQUEMA GERAL:

1) TOME UM POLIEDRO $T^0 \supset S$, E $x^0 \in \mathbb{R}^n$. FAÇA $k=0$

2) RESOLVA
$$\begin{aligned} \min\ & c^t x \\ \text{s.a.}\ & x \in T^k \end{aligned},$$
OBTENDO x^k.

3) SE $x^k \in S$, PARE. CASO $x^k \notin S$, GERE UM HIPERPLANO $H^k = \{x \in \mathbb{R}^n;\ a_k^t x \le b_k\}$ TAL QUE
$$S \subset T^k \cap H^k \text{ E } x^k \notin H^k.$$
TOME $T^{k+1} = T^k \cap H^k$, $k \leftarrow k+1$ E VOLTE AO PASSO 2.



OBS.: NA PRÁTICA É INTERESSANTE DESCARTAR HIPERPLANOS REDUNDANTES. UMA ESTRATÉGIA É DESCARTAR HIPERPLANOS INATIVOS NO PONTO CORRENTE x^k.

CONSIDERE O PROBLEMA

$$\min \ c^t x$$
$$\text{s.a.} \quad g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, p,$$

g_i's SÃO CONVEXAS E CONTINUAMENTE DIFERENCIÁVEIS.

AQUI, $S = \{ x \in \mathbb{R}^n \ ; \ g_i(x) \leq 0, \ \forall i \}$.

DADO $x^k \notin S$, TEMOS $g_j(x^k) > 0$ PARA ALGUNS j's.

DA CONVEXIDADE DE g_j, TEMOS

$$g_j(x^k) + \nabla g_j(x^k)^t (x - x^k) \leq g_j(x), \quad \forall x.$$

O DESEJO É QUE $g_j(x) \leq 0$. CONSIDERAMOS O HIPERESPAÇO

$$H^k = \{ x \in \mathbb{R}^n ; \; g_j(x^k) + \nabla g_j(x^k)^t (x - x^k) \leq 0 \}.$$

OBSERVE QUE

(i) $S \subset H^k$

(ii) $x^k \notin H^k$, DADO QUE

$$g_j(x^k) + \nabla g_j(x^k)^t (x^k - x^k) = g_j(x^k) > 0.$$

<u>OBS.:</u> ISSO SÓ FUNCIONA SUPONDO $\nabla g_j(x^k) \neq 0$.

CONVERGÊNCIA

TEOREMA: SEJAM g_i, $i=1,\dots,p$, FUNÇÕES CONVEXAS DE CLASSE C^1. SUPONHA QUE O MÉTODO DE PLANOS DE CORTE GERE UMA SEQUÊNCIA $\{x^k\}$ COM SUCESSO. ENTÃO QUALQUER PONTO DE ACUMULAÇÃO x^* DE $\{x^k\}$ É MINIMIZADOR DE

$$
\begin{aligned}
&\min\ c^t x \\
&\text{s.a. } g_i(x) \leq 0, \quad i=1,\dots,p.
\end{aligned}
$$

PROVA: EXERCÍCIO (VEJA LIVRO DE LUENBERGUER). //

RESOLUÇÃO DE SISTEMAS DE INEQUAÇÕES CONVEXAS

$$\begin{cases} g_1(x) \leq 0 \\ \vdots \\ g_p(x) \leq 0 \end{cases} , \quad g_i\text{'s são } C^1 \text{ convexas}$$

DADO x^k, CONSIDERE O CONJUNTO

$$M(x^k) = \{ i \; ; \; g_i(x^k) = \max_{j=1,\dots,p} g_j(x^k) \}.$$

OBSERVE QUE x^k NÃO É SOLUÇÃO DO SISTEMA, $g_i(x^k) > 0, \forall i \in M(x^k)$

TOMEMOS

$$w^k = \sum_{i \in M(x^k)} \alpha_i \nabla g_i(x^k) \quad \text{ONDE} \quad \sum_{i \in M(x^k)} \alpha_i = 1, \; \alpha_i \geq 0, \forall i \in M(x^k).$$

CONSIDERE O HIPERESPAÇO

$$H^k : \left(\max_{i=1,\dots,p} g_i(x^k) \right) + (x - x^k)^t w^k \leq 0 .$$

TEMOS :

(i) AS SOLUÇÕES DO SISTEMA SATISFAZEM H^k POIS, SE x É UMA SOLUÇÃO, ENTÃO

$$g_i(x^k) + \nabla g_i(x^k)^t (x - x^k) \leq g_i(x) \leq 0 \quad , \forall i \qquad \text{(CONVEXIDADE)}$$

$$\Rightarrow \quad \alpha_i g_i(x^k) + \alpha_i \nabla g_i(x^k)^t (x - x^k) \leq 0 , \quad \forall i \in M(x^k)$$

$$\Rightarrow \quad \sum_{i \in M(x^k)} \alpha_i g_i(x^k) + \left[\sum_{i \in M(x^k)} \alpha_i \nabla g_i(x^k) \right]^t (x - x^k) \leq 0$$

$$\Longrightarrow \max_{i\in M(x^k)} g_i(x^k) \cdot \sum_{i\in M(x^k)} \alpha_i + (w^k)^t (x - x^k) \leq 0$$

$$\Longrightarrow \max_{i=1,\dots,p} g_i(x^k) + (x-x^k)^t w^k \leq 0 \Longrightarrow x \in H^k \blacksquare$$

(ii) TRIVIALMENTE x^k NÃO É SOLUÇÃO $\Longrightarrow x^k \notin H^k$.

ALGORITMO:

1) SEJA $x^0 \in \mathbb{R}^n$, $T^0 = \{x \in \mathbb{R}^n ; l_i \leq x_i \leq u_i, \forall i\}$ TAL QUE T^0 CONTÉM SOLUÇÕES DO SISTEMA (ISSO É POSSÍVEL SE TOMAMOS LIMITANTES LARGOS). FAÇA $k = 0$.

2) CALCULE $M(x^k)$ E $w^k = \sum_{i\in M(x^k)} \alpha_i^k \nabla g_i(x^k)$, $\sum_{i\in M(x^k)} \alpha_i = 1$,

$\alpha_i^k \geq 0, \forall i \in M(x^k)$

3) RESOLVA O PL

$$\min_{x,z} \; z$$

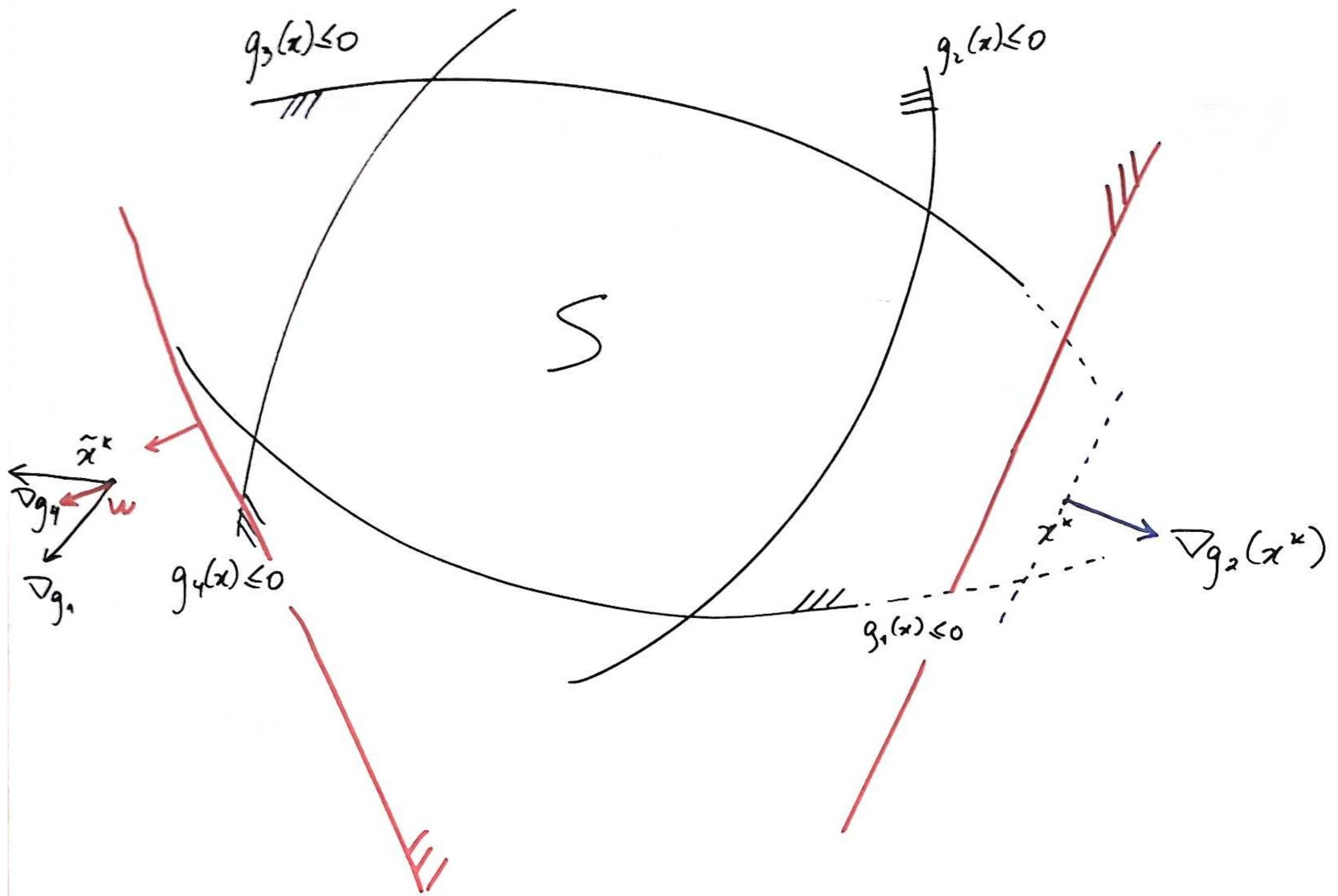
$$\text{s.a.} \quad z \geq \left(\max_{i=1,\dots,p} g_i(x^j) \right) + (x - x^j)^t w^j \, ,$$

$$j = 0, \dots, K$$

$$l_i \leq x_i \leq u_i \quad , \forall i .$$

SEJA x^{K+1} A SOLUÇÃO ENCONTRADA.

4) SE x^{K+1} RESOLVE O SISTEMA DE INEQUAÇÕES, PARE.
CASO CONTRÁRIO, FAÇA $K \leftarrow K+1$ E VOLTE AO PASSO 2.



$g_3(x) \leq 0$
$g_2(x) \leq 0$
S
$\tilde{x}^*$
∇g_4
w
∇g_1
$g_4(x) \leq 0$
x^*
$\nabla g_2(x^*)$
$g_1(x) \leq 0$

OUTRO CRITÉRIO DE PARADA

CONSIDERE AS NOTAÇÕES

$$f(x) = \max_{i=1,\dots,p} g_i(x)$$

E

$$F_k(x) = \max \left\{ f(x^0) + (x - x^0)^t w^0, \dots, f(x^k) + (x - x^k)^t w^k \right\}.$$

QUEREMOS DECIDIR COMO PARAR EM x^{k+1}. É POSSÍVEL PROVAR QUE

$$F_k(x^{k+1}) \leq \min_{x \in [l,u]} f(x) \leq \min_{j=0,\dots,k+1} f(x^j).$$

VEJA QUE

$$\min_{j=0,\dots,k+1} f(x^j) - F_k(x^{k+1}) \geq 0$$

COMO VISTO NO TEOREMA DE CONVERGÊNCIA, À MEDIDA QUE GERAMOS CORTES, x^{k+1} SE APROXIMA DE UMA SOLUÇÃO. DESTA FORMA A DIFERENÇA ACIMA TENDE A ZERO, E LOGO UM CRITÉRIO DE PARADA PRÁTICO É

$$\min_{j=0,\dots,k+1} f(x^j) - F_k(x^{k+1}) \leq \varepsilon \qquad (\varepsilon > 0 \text{ PRECISÃO}).$$

OBSERVE QUE O CÁLCULO É FEITO COM ELEMENTOS QUE JÁ TEMOS EM MÃOS NO ALGORITMO !!!.