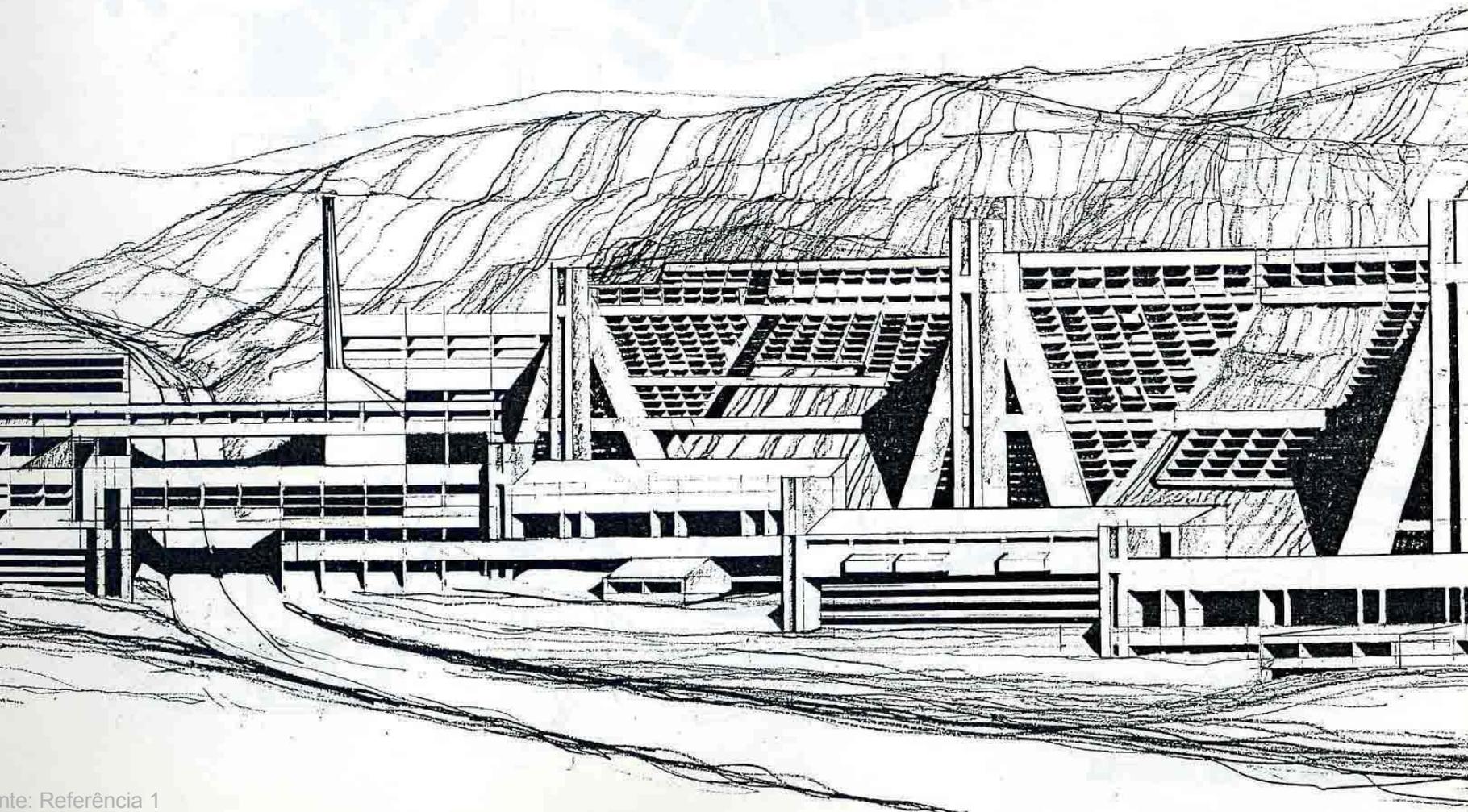


# Building on Slopes: An Approach

Universidade Federal de Santa Catarina  
3º Trimestre 2004, Ocupação de Encostas – Projeto  
Profª: Sonia Afonso, Aluno: Richard Lar...



Fonte: Referência 1

## Construindo em Encostas: Uma Abordagem

Zalwski, W. P., Kirby, M. R., Goethert, R.  
MIT School of Architecture and Planning  
Department of Architecture  
February to June 1990

## Tendências em Cidades

Crescimento... (implica que...)

- ⇒ Aumento em densidade de população
- ⇒ Mudança para subúrbios
- ⇒ Aumento em distâncias de viagens
- ⇒ Queda de renda de impostos em áreas centrais
- ⇒ Infra-estrutura decadente
- ⇒ Falta de espaço para ocupação

## Morfologia de Cidades

### Uso do Solo x Declividade:

- Terreno plano até 5%: Quadras ou campos esportivos e eixos de transportes
- Terreno < 25%: Estacionamento, parques, industrial, agricultura, circulação de veículos
- Terreno >25%: Residência, escolas, negócios, comercial, hotéis, hospitais, administração, lazer, armazenagem

### Conclusão:

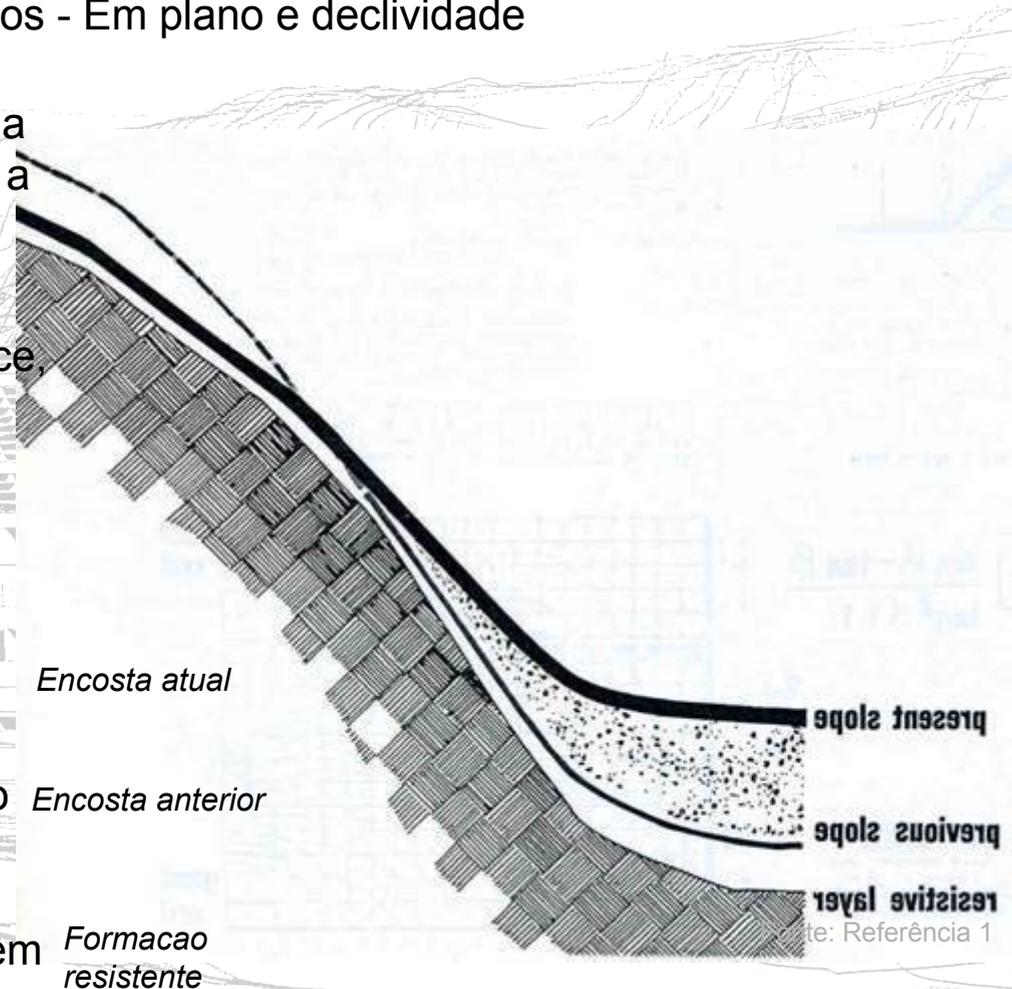
Podemos e devemos usufruir muito mais os terrenos inclinados para construção, aliviando problemas de longas distâncias de viagens, e altos preços de terrenos centrais.

## Mecânica de solos - Em plano e declividade

Em princípio o material se move sob a ação principal de gravidade, ou seja, a tendência é de descer a encosta.

Ao longo do tempo o material menos compactado (menor resistência) desce, deixando material mais resistente exposto na encosta, e este mesmo material coberto a uma profundidade maior no sopé.

Embora este modelo seja fácil de compreender não é sempre assim. Outros fatores como a presença de vegetação, ação das águas e o vento (entre outros) fazem com que as condições geotécnicas da encosta mudem. Nada substitui uma sondagem recente da área em que pretende construir.

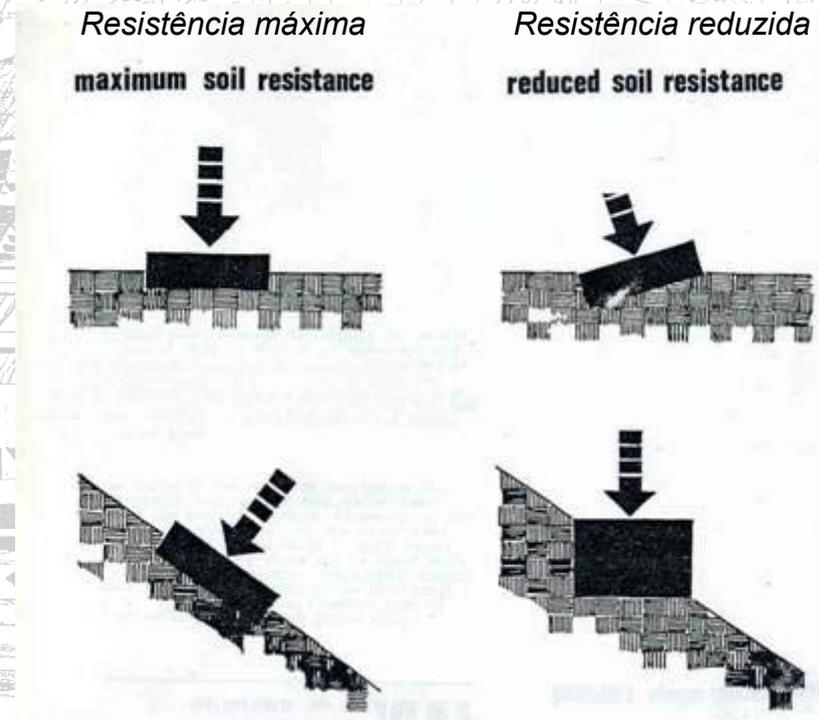


## Mecânica de solos – Em plano e em declive

A resistência do solo depende de vários fatores mas em todos os casos uma fundação equivalente construído numa encosta terá uma resistência menor que a mesma construída no plano.

A resistência máxima acontece quando a força se atua ortogonalmente à superfície.

Mesmo assim (ver figura ao lado) a resistência no plano é maior.



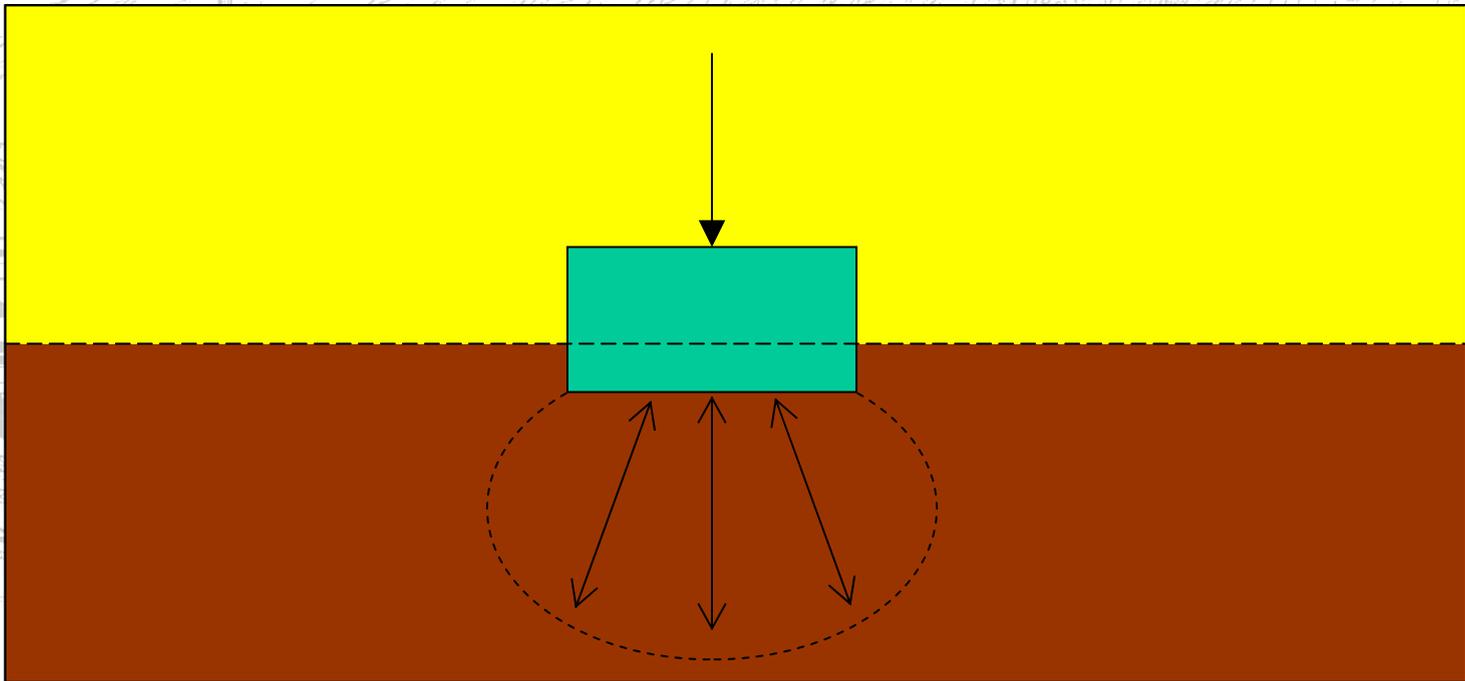
## Mecânica de solos – Em plano e em declive

Ao variar as condições do solo, presença de água, declividade e tipo de carga o modo como que o solo reage e apóia ou não o peso também varia.

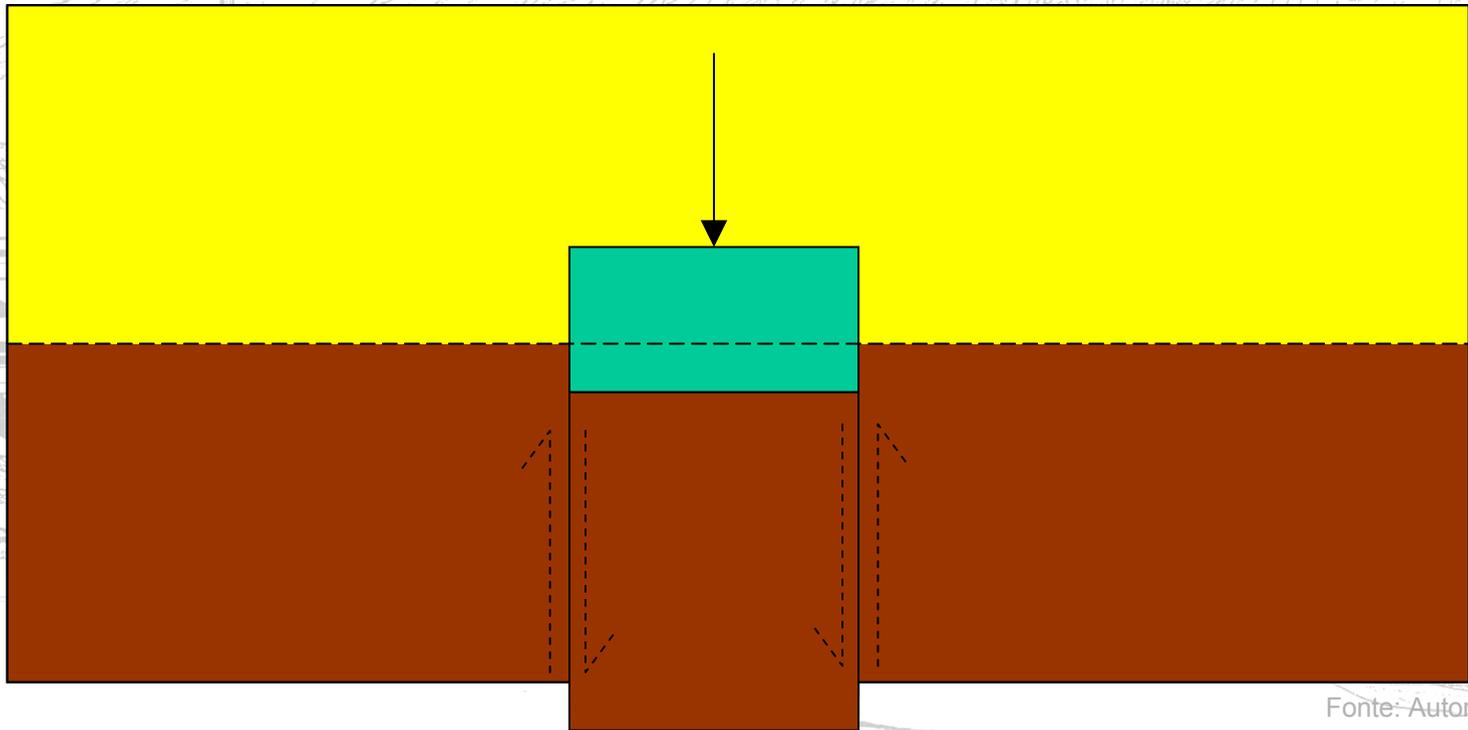
Este modo apesar de aparecer complexo, depende por maior parte em compressão direta do solo ou então uma ruptura por atrito.

Também, em mecânica, devemos reconhecer que por cada ação há uma reação. Afinal, cada situação é um estado de equilíbrio pois não queremos que algum movimento seja grande.

## Modo 1 – Compressão de solo

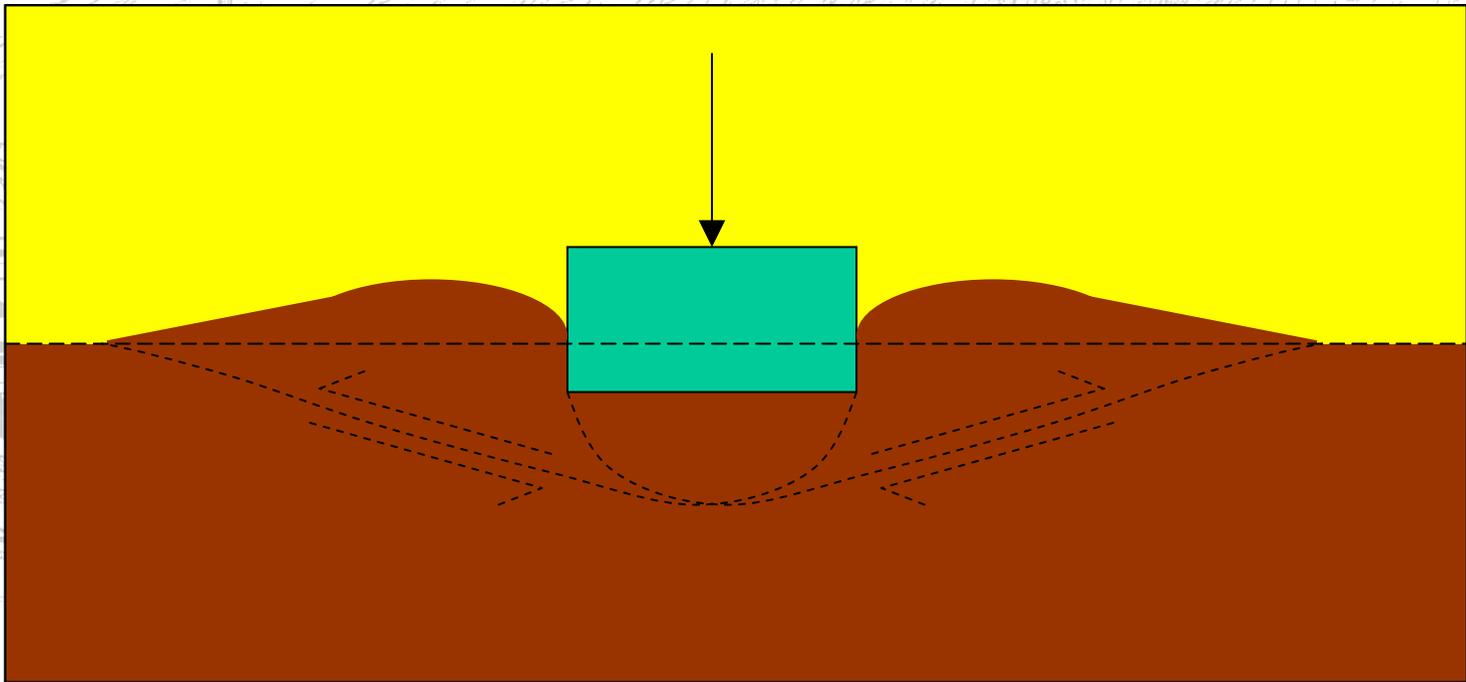


## Modo 2 – Ruptura por atrito



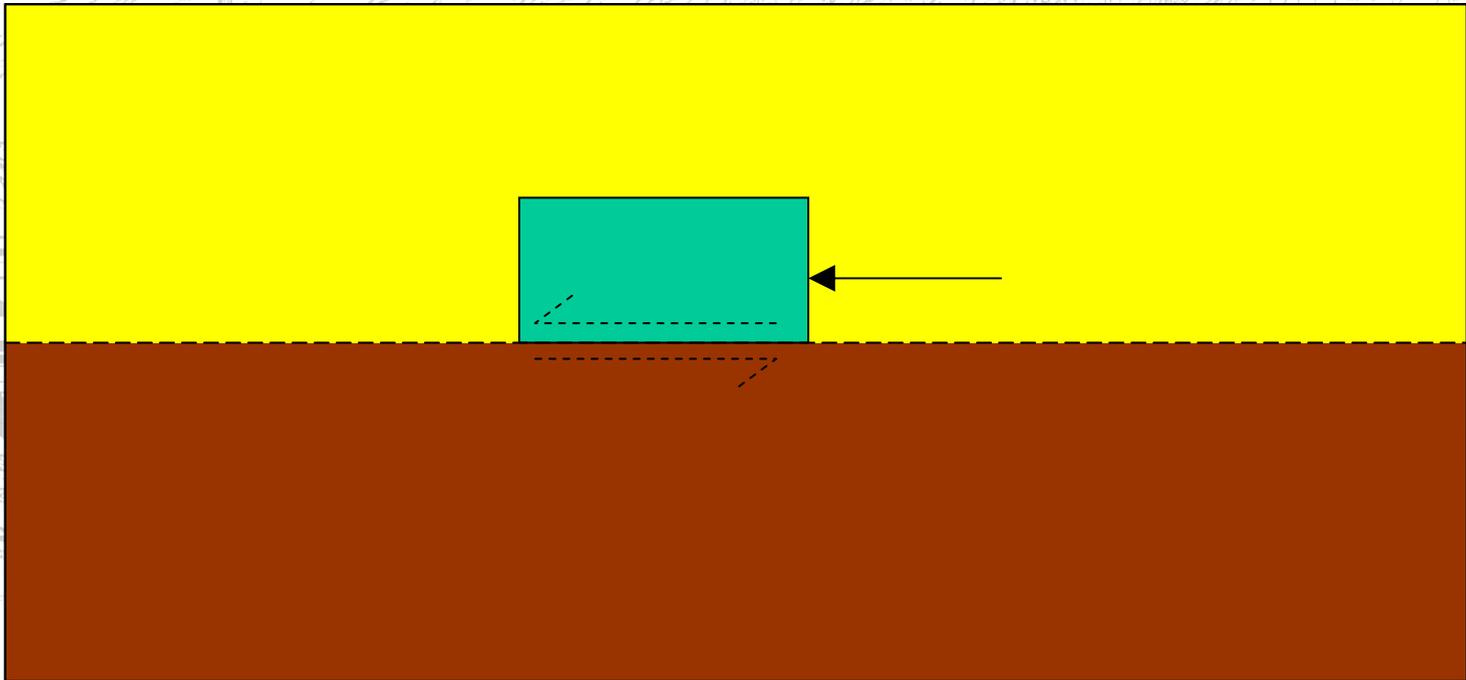
Fonte: Autor

## Modo 3 – Compressão e remoção

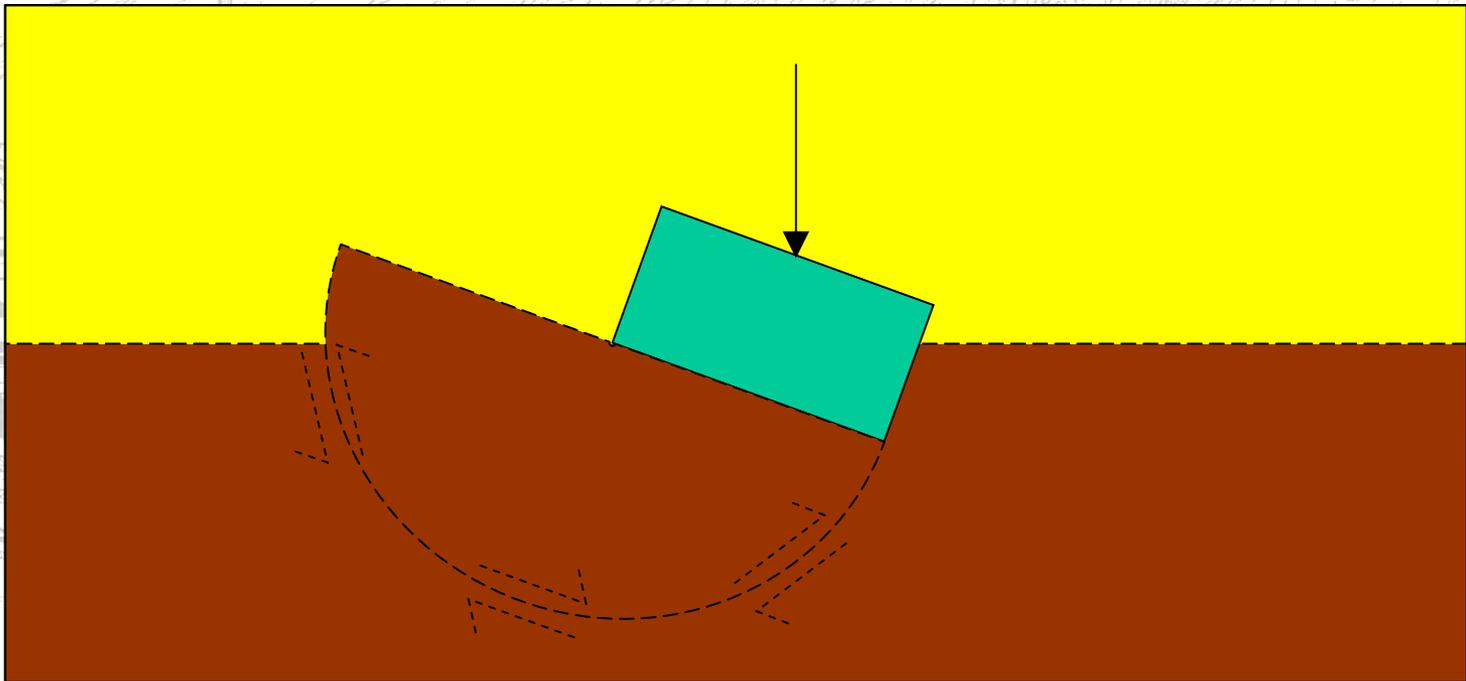


Fonte: Autor

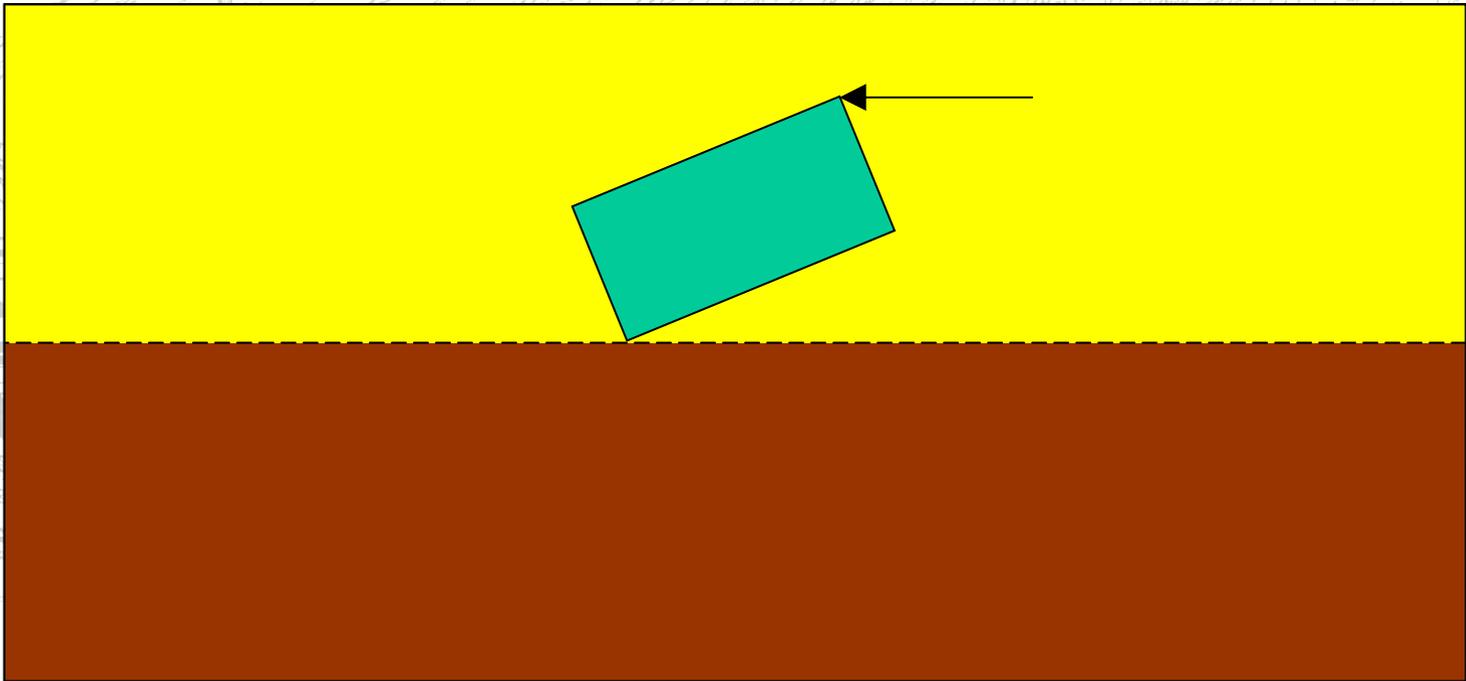
## Modo 4 - Deslizamento



## Modo 5 – Rotação por ruptura circular

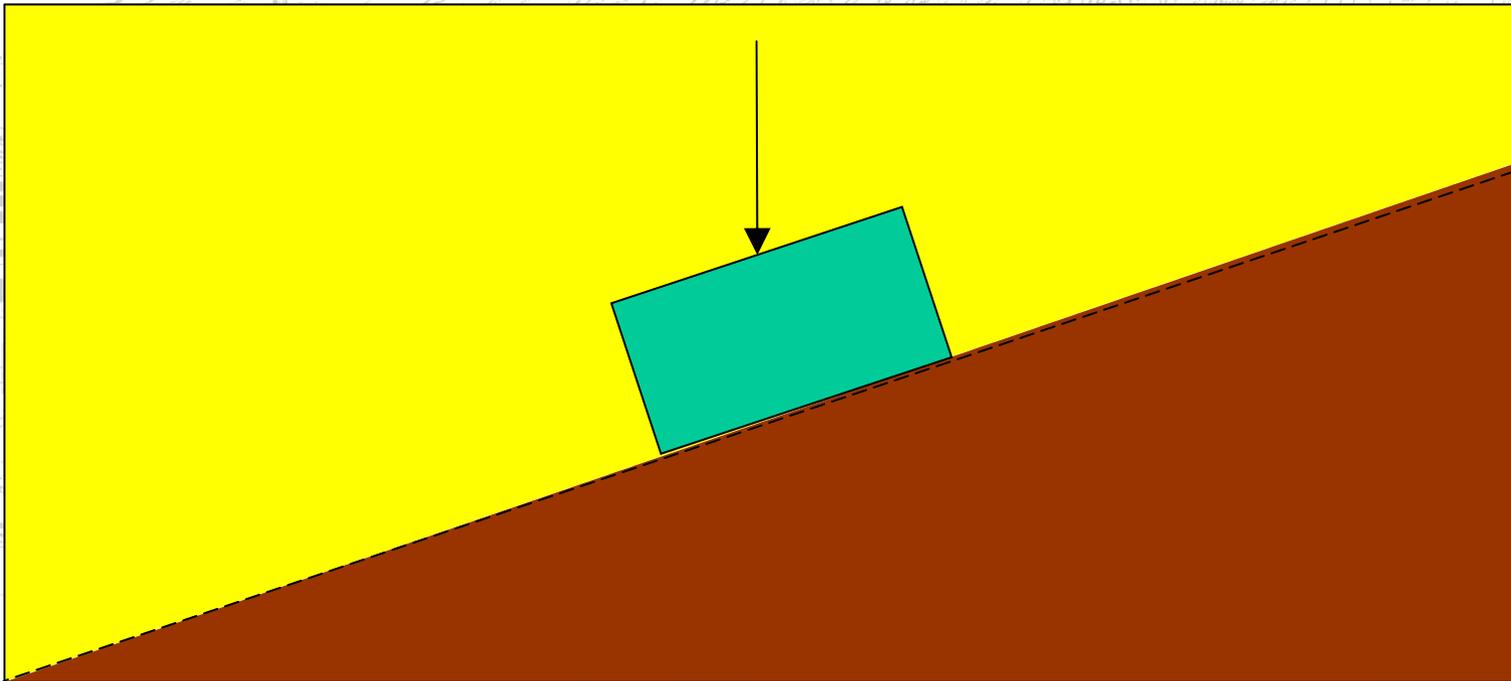


## Modo 6 – Instabilidade estrutural



## Mecânica de solos – em encosta

Dependendo da inclinação, e o estado geotécnico qualquer um dos modos descritos pode ser mais provável.



## Mecânica de solos – em encosta

Um modo mais provável nas encostas do que no plano é a rotação por ruptura circular.



Diagrama de rotação por ruptura circular

Fonte: <http://www.ew.govt.nz/enviroinfo/hazards/naturalhazards/landslide/diagram.htm>

## Mecânica de solos – em encosta

Em certos casos esta rotação causa um deslizamento seguido por uma liquefação do solo, resultando em fluxo súbito do solo que transporta material sobre grandes distâncias em estado fluido.

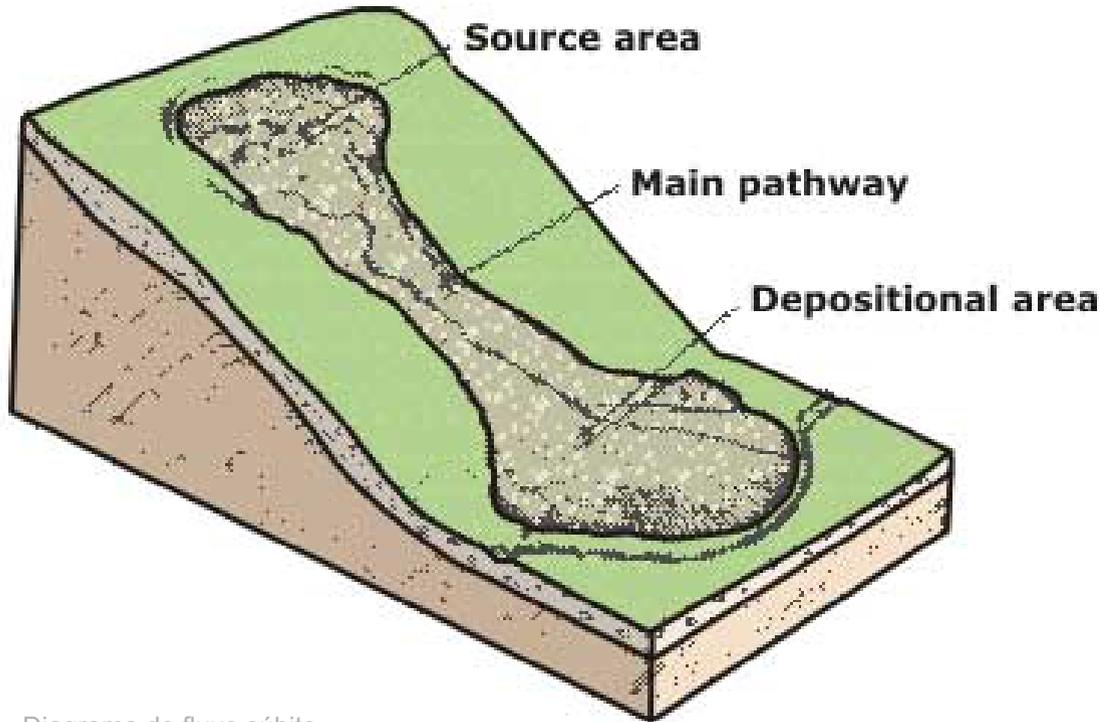


Diagrama de fluxo súbito

Fonte: <http://www.ew.govt.nz/enviroinfo/hazards/naturalhazards/landslide/diagram.htm>

## Mecânica de solos – em encosta



Desmoronamento

Fonte: [http://seis.natsci.esulb.edu/VIRTUAL\\_FIELD/Palos\\_Verdes/pvportuguese.htm](http://seis.natsci.esulb.edu/VIRTUAL_FIELD/Palos_Verdes/pvportuguese.htm)



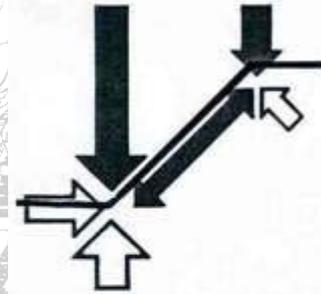
Desmoronamento

Fonte: [http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/images/lithosphere/mass\\_wastin](http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/images/lithosphere/mass_wastin)  
a erosion/landslide/la-conchita\_CA-USGS\_slide21.jpg

## Aspectos considerados em análise.

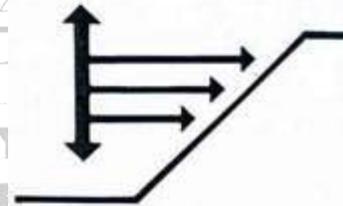
São três as principais áreas  
considerados pelo livro.

Como conclusão são feitas  
umas considerações  
arquitetônicas adicionais.



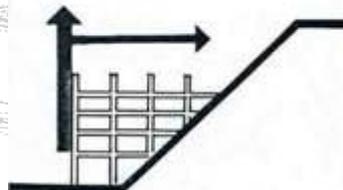
### STRUCTURAL

*Estrutural*



### CIRCULATION

*Circulação*



### CONSTRUCTION

*Construção*

Fonte: Referência 1

## A Proposta – considerações estruturais

A estrutura está idealizada como dois volumes.

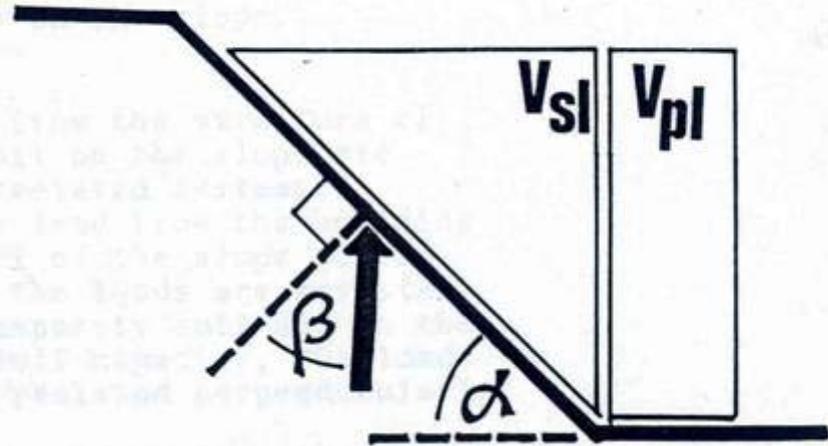
$V_{sl}$  é o volume sobre a encosta e  $V_{pl}$  é o volume sobre o terreno plano no sopé.

*Alfa* ( $\alpha$ ) é a declividade.

*Beta* ( $\beta$ ) representa a resistência do solo da encosta ao deslizamento.

*Beta* = zero significa que o volume  $V_{sl}$  depende totalmente do Volume  $V_{pl}$  para apoiá-lo na encosta.

*Beta* = *Alfa* (ver figura) significa que o volume  $V_{sl}$  não precisa do volume  $V_{pl}$  para resistir o deslizamento.

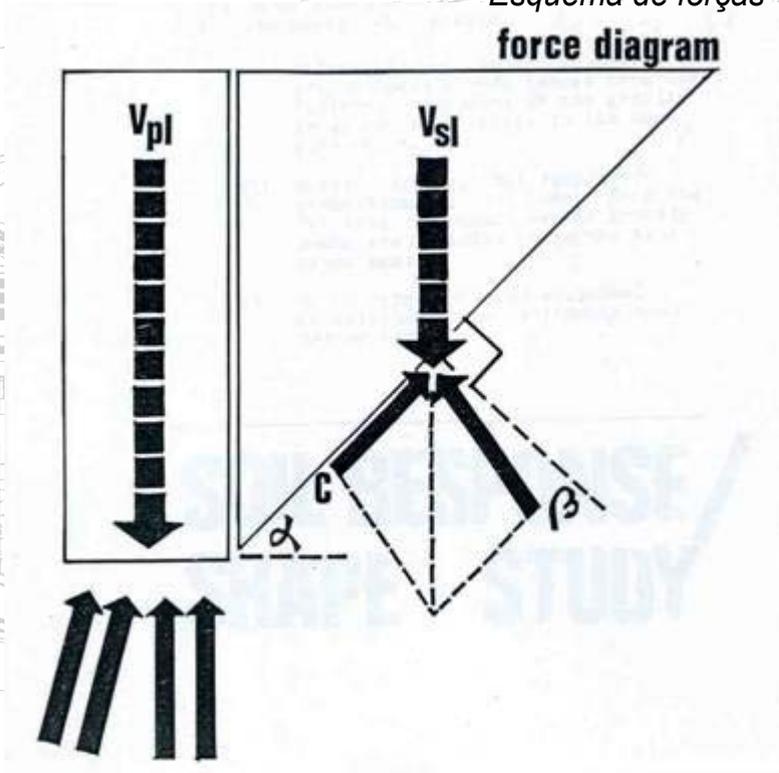


Fonte: Referência 1

Corte de estrutura idealizada

## A Proposta – considerações estruturais

Esquema de forças  
force diagram



A força  $C$  é a força de apoio que o volume  $V_{sl}$  precisa para não deslizar. Esta força é resistida pela fundação inclinada de volume  $V_{pl}$ .

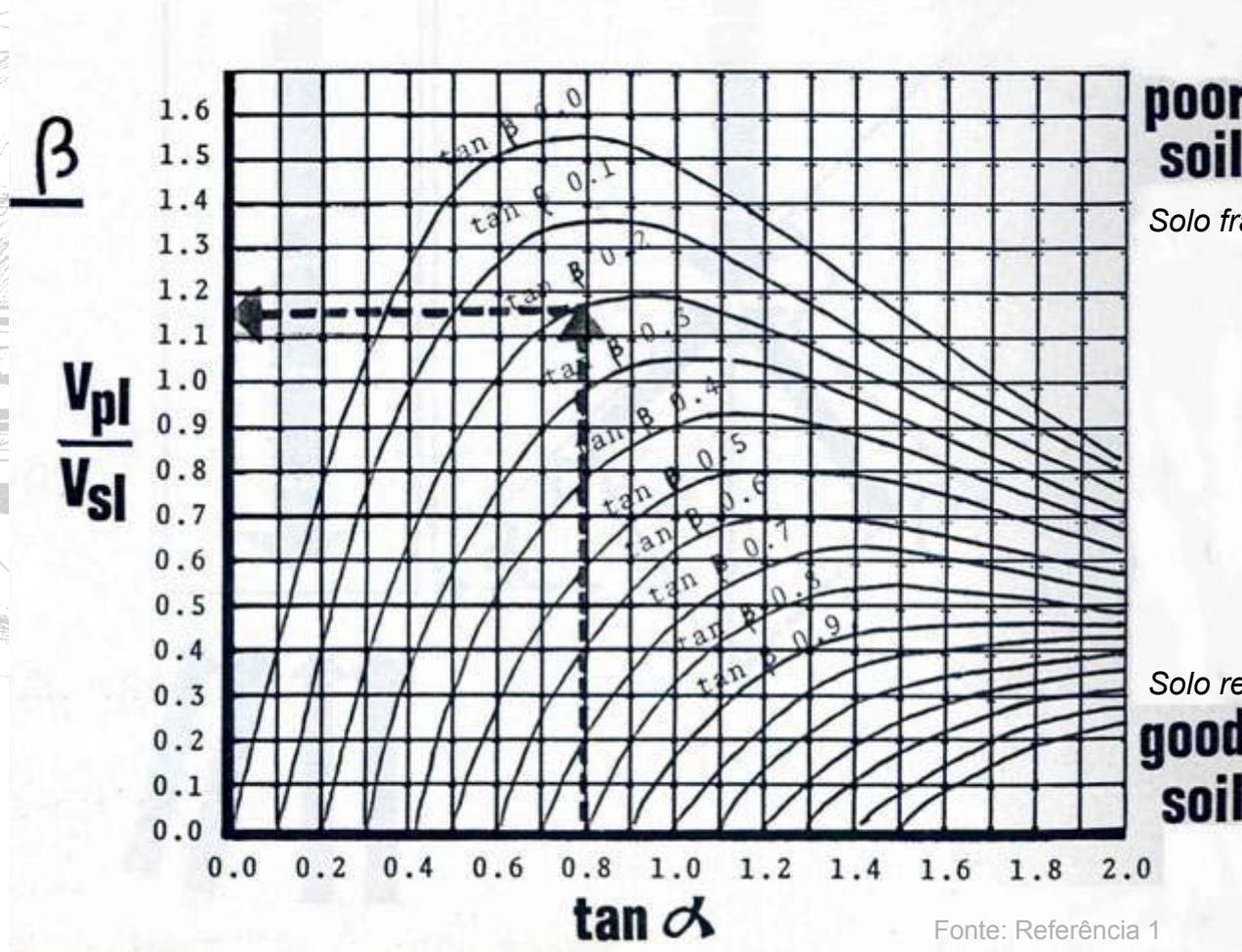
A equação de equilíbrio segue:

### FORMULA

$$\frac{V_{pl}}{V_{sl}} \geq (4 - \tan \alpha) \frac{\tan \alpha - \tan \beta}{\tan^2 \alpha + 1}$$

## A Proposta – considerações estruturais

Diferentes valores de  $Beta$  substituídos na equação anterior resultam no gráfico abaixo:

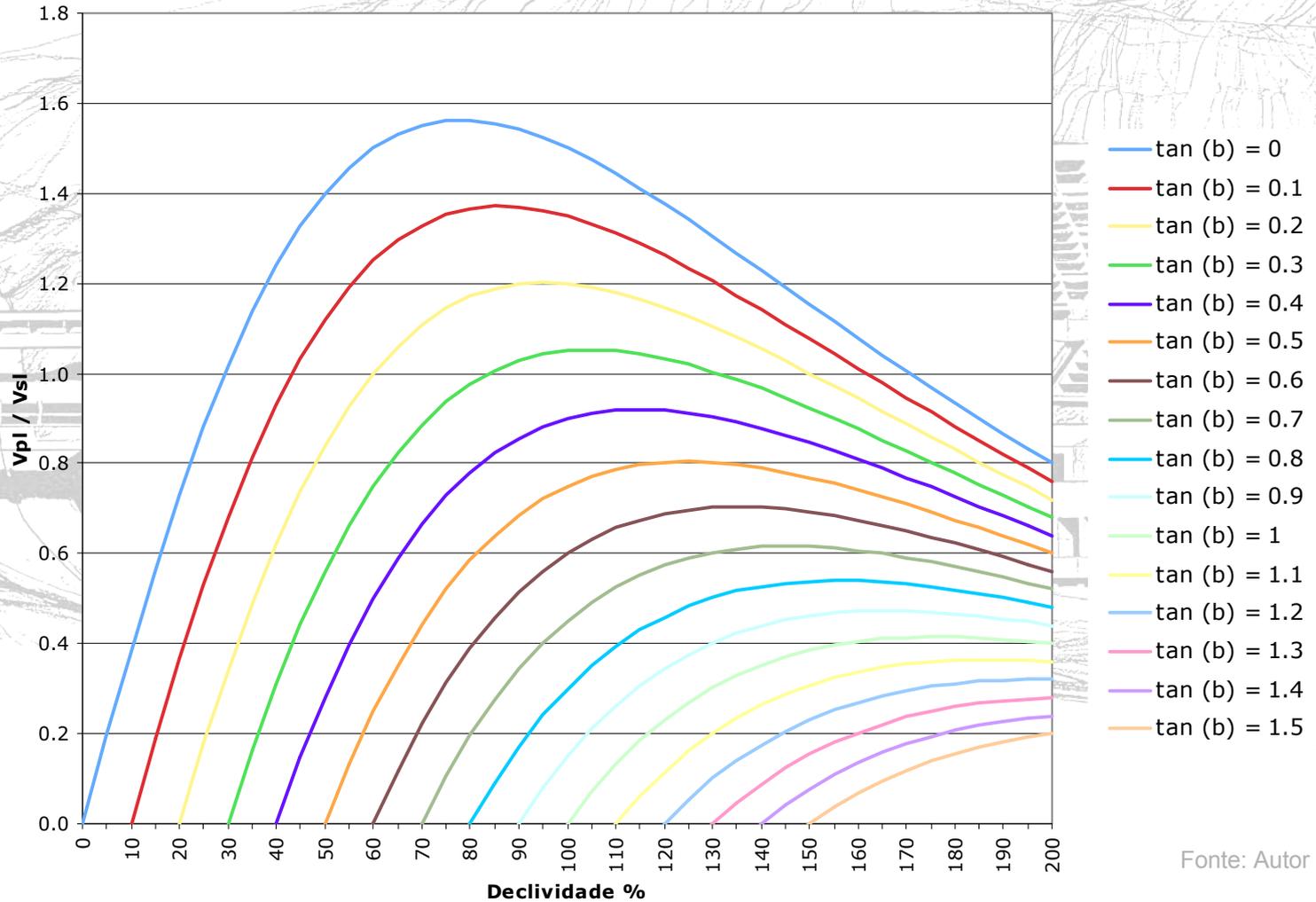


## A Proposta – considerações estruturais

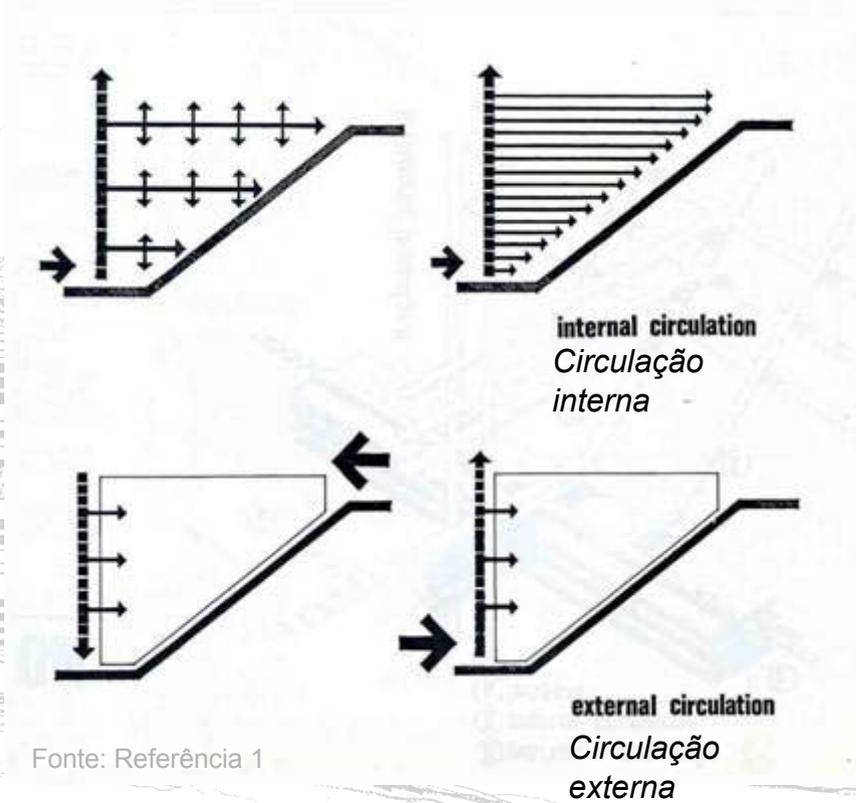
Questões de avaliação deste método [RHL]:

- Há limites de viabilidade?
- Qual é a zona de mais uso?
- Qual é a zona de mais eficácia?
- Quando é viável tecnicamente e comercialmente?
- Há algum caso quando é mais barato que uma construção inteiramente no plano?

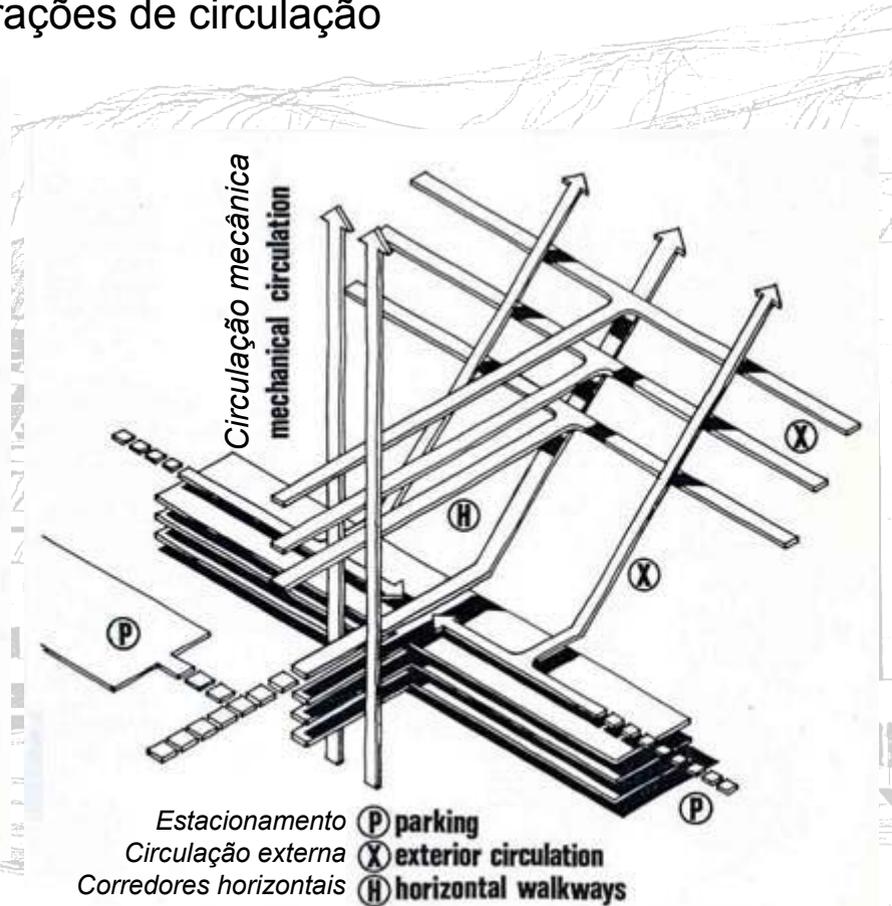
## A Proposta – considerações estruturais



## A Proposta – considerações de circulação

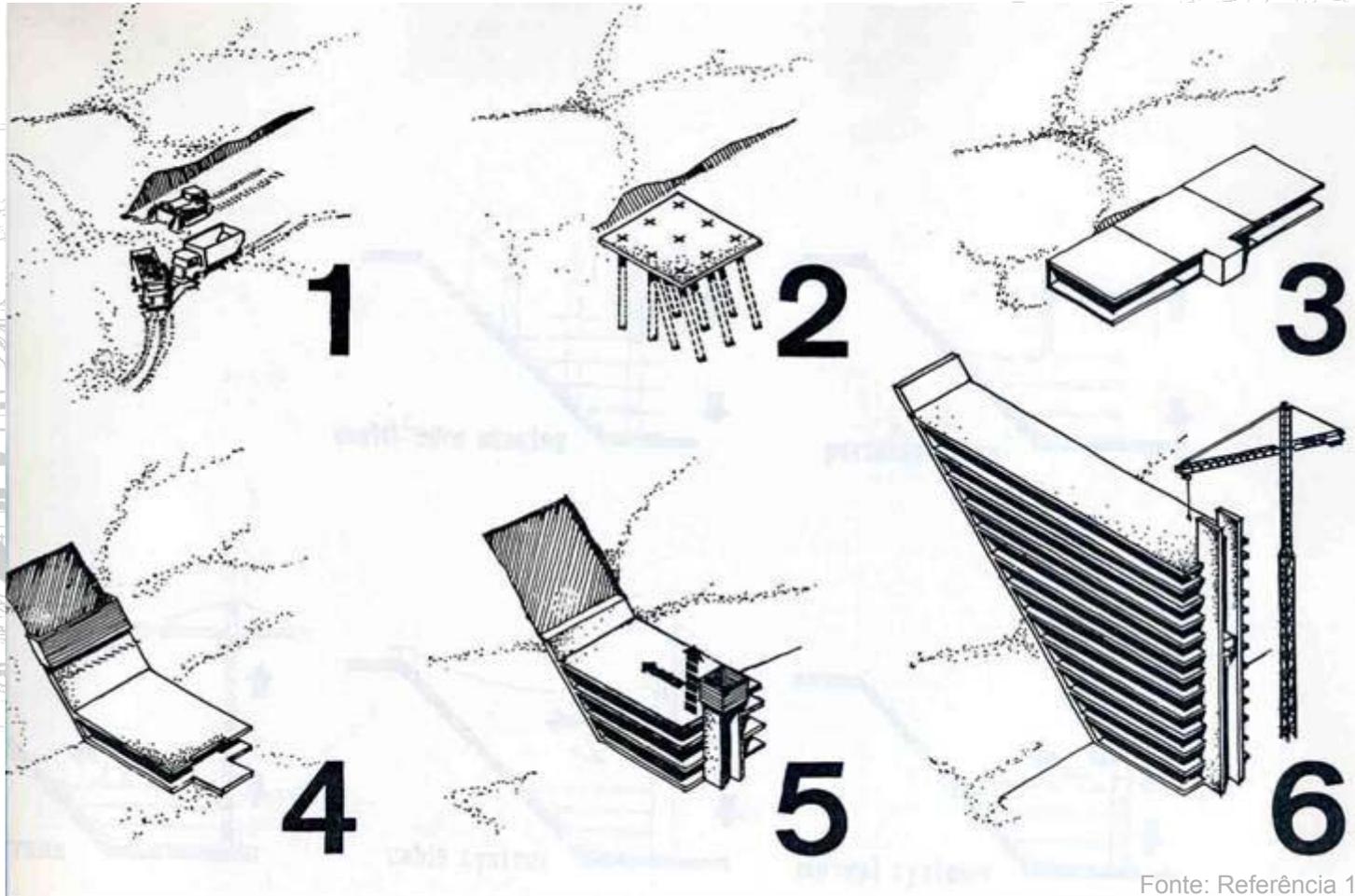


Circulação em corte



Circulação em 3-d

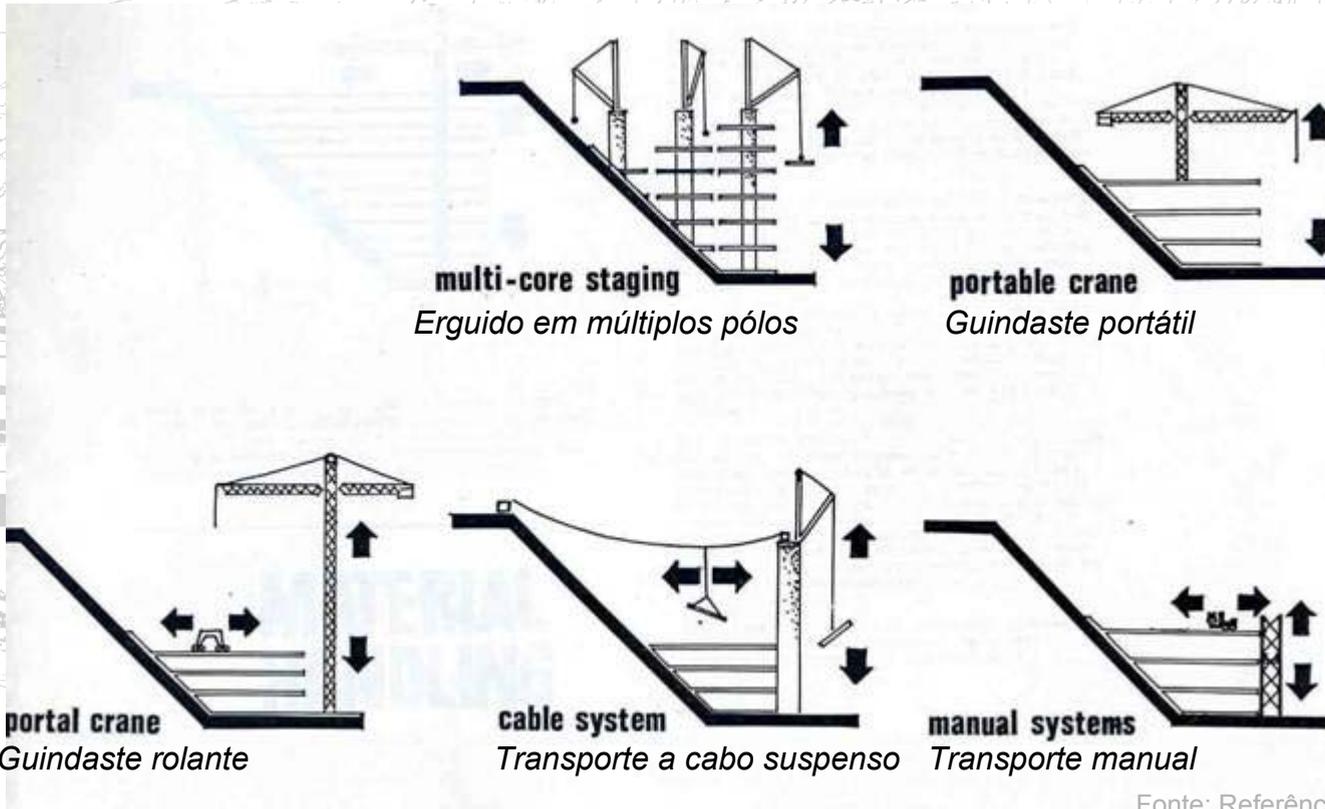
## A Proposta – considerações de construção



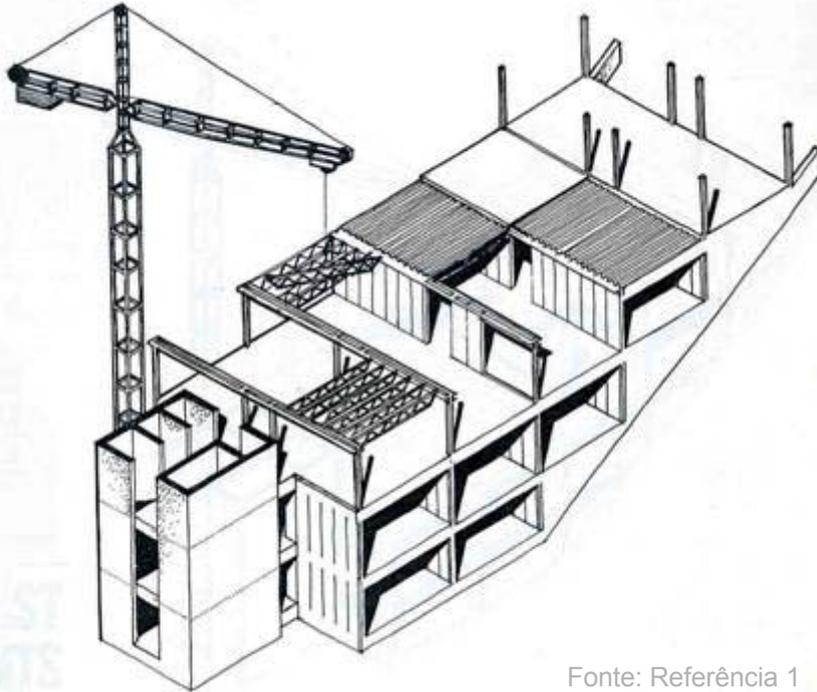
Fonte: Referência 1

Seqüência de Construção

## A Proposta – considerações de construção

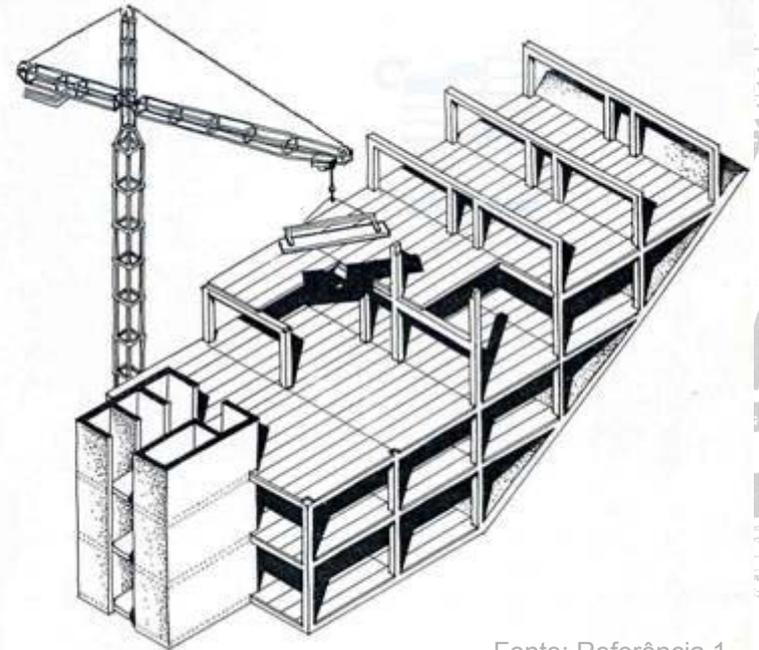


## A Proposta – considerações de construção



Fonte: Referência 1

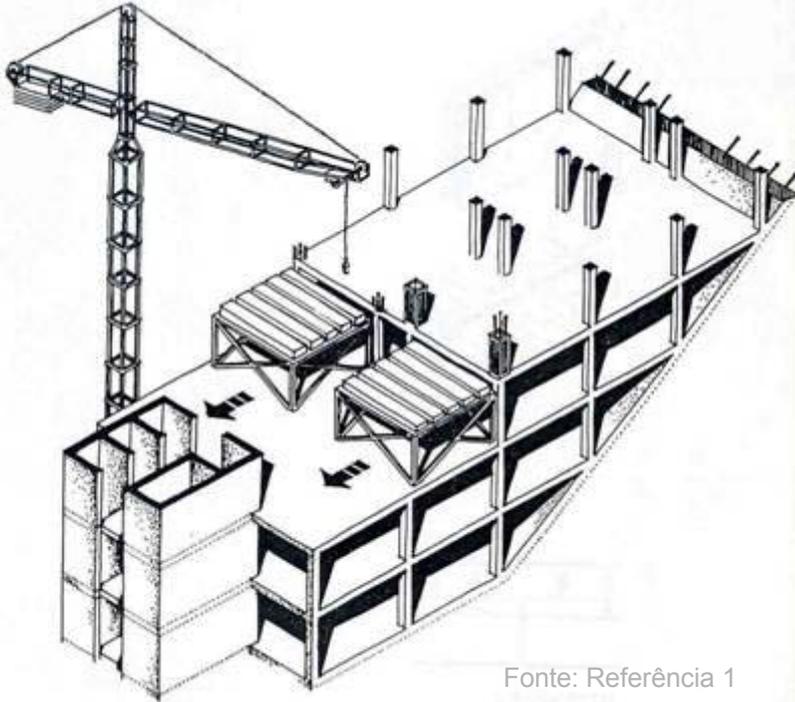
Estrutura metálica



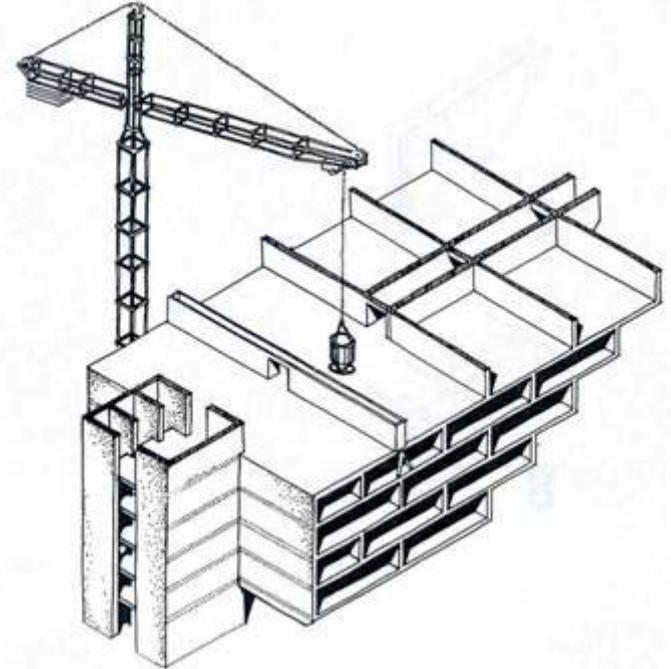
Fonte: Referência 1

Estrutura em concreto pré-moldado

## A Proposta – considerações de construção



Fonte: Referência 1

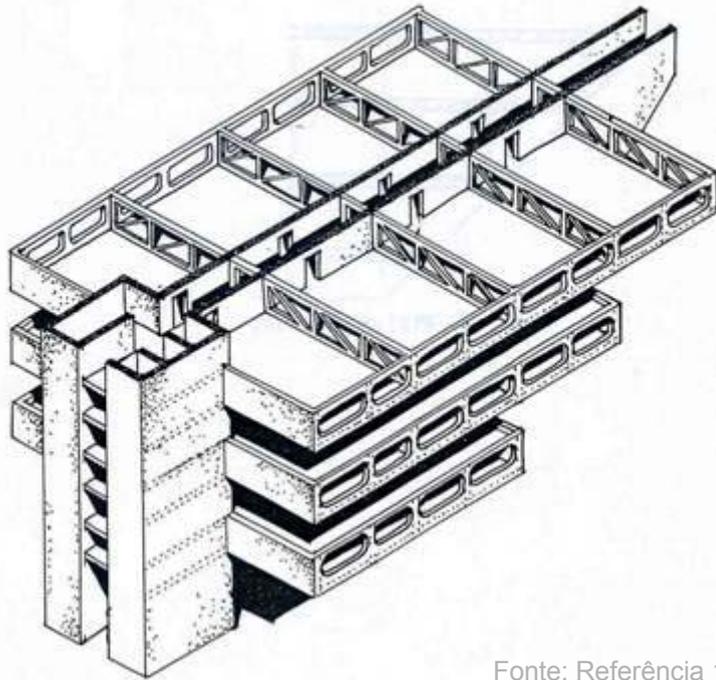


Fonte: Referência 1

Estrutura em concreto *in-loco*

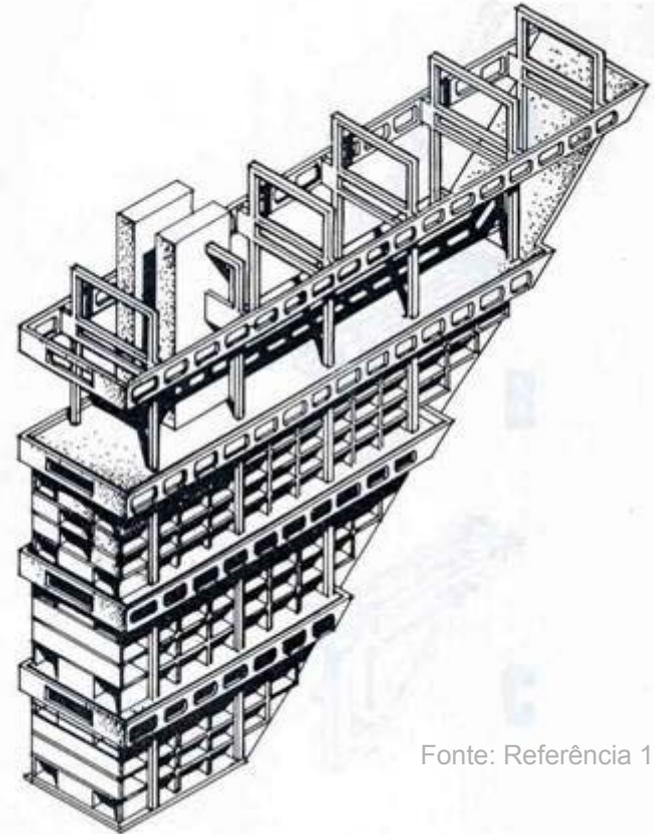
Estrutura com vigas alternando

## A Proposta – considerações de construção



Fonte: Referência 1

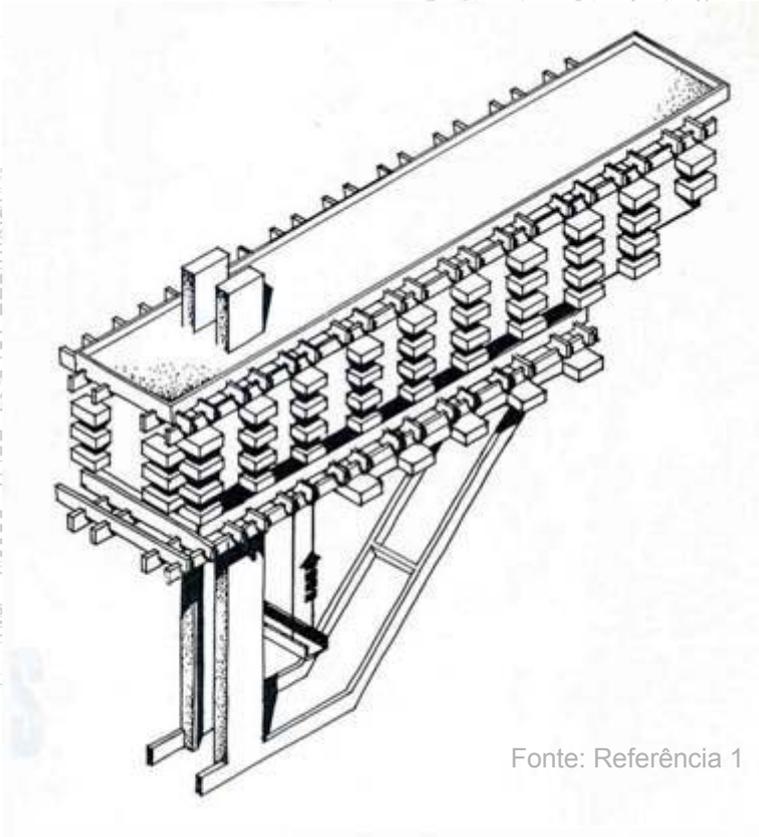
Estrutura com treliça



Fonte: Referência 1

Estrutura com lages de 5 em 5 andares

## A Proposta – considerações de construção



Fonte: Referência 1

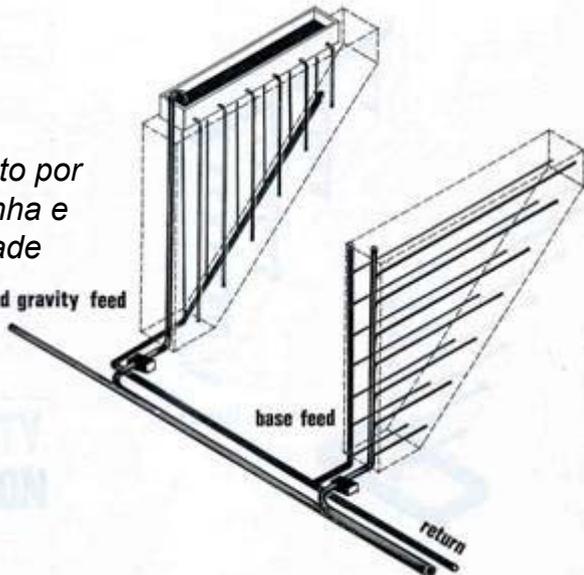


Estrutura suspensa

## A Proposta – considerações de construção

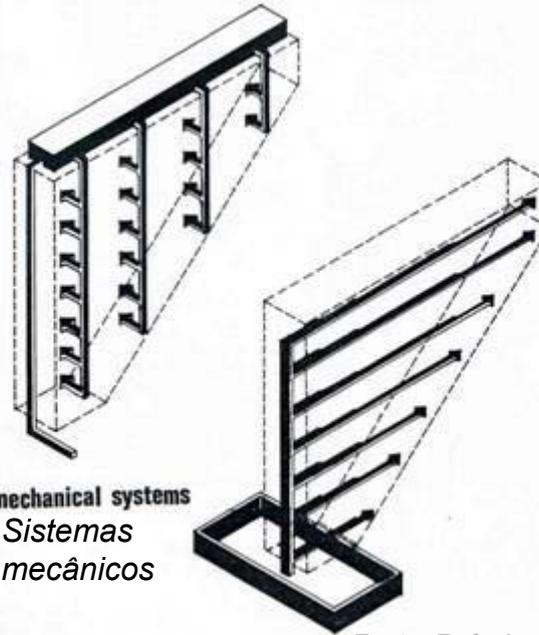
*Alimento por  
bombinha e  
gravidade*

**pump and gravity feed**



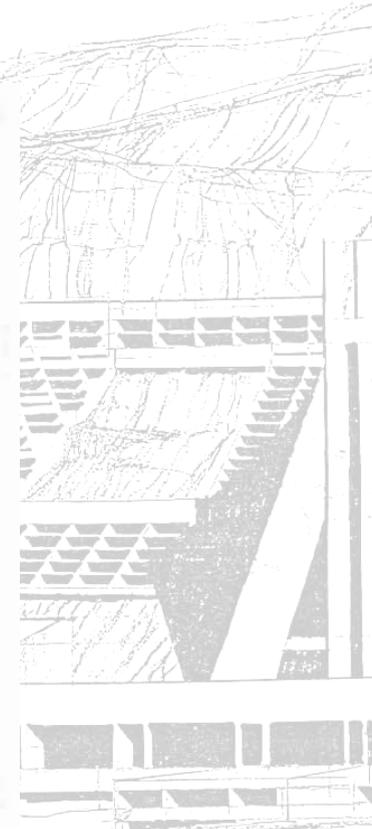
Fonte: Referência 1

**mechanical systems**  
*Sistemas  
mecânicos*

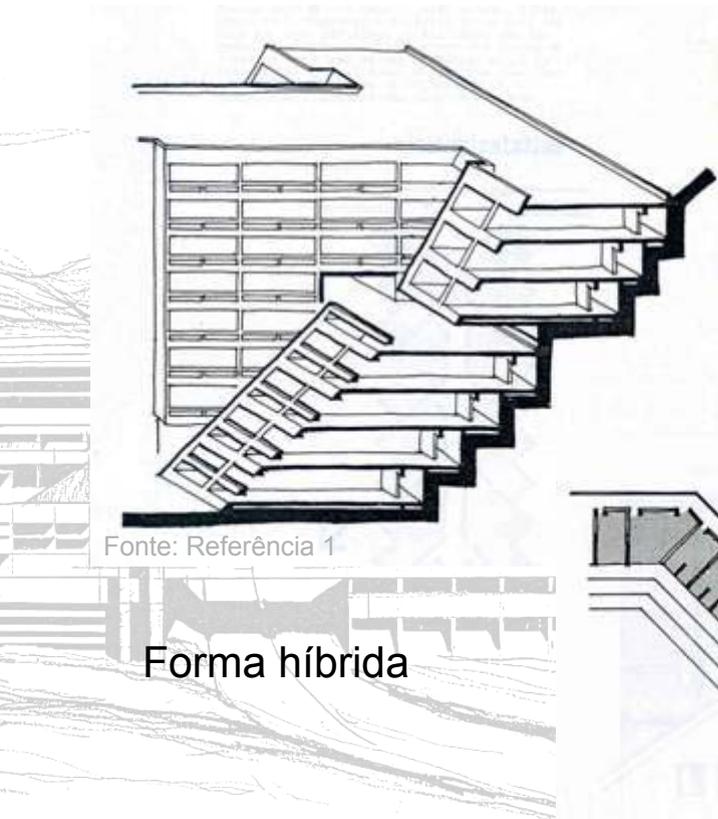


Fonte: Referência 1

## Considerações sobre serviços

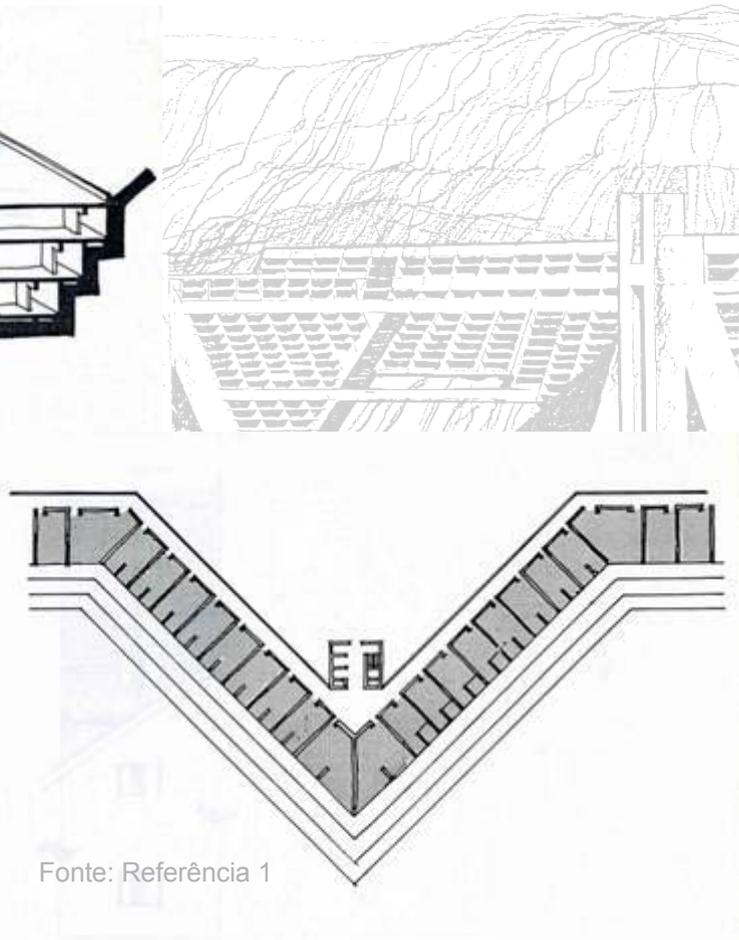


## A Proposta – considerações arquitetônicas



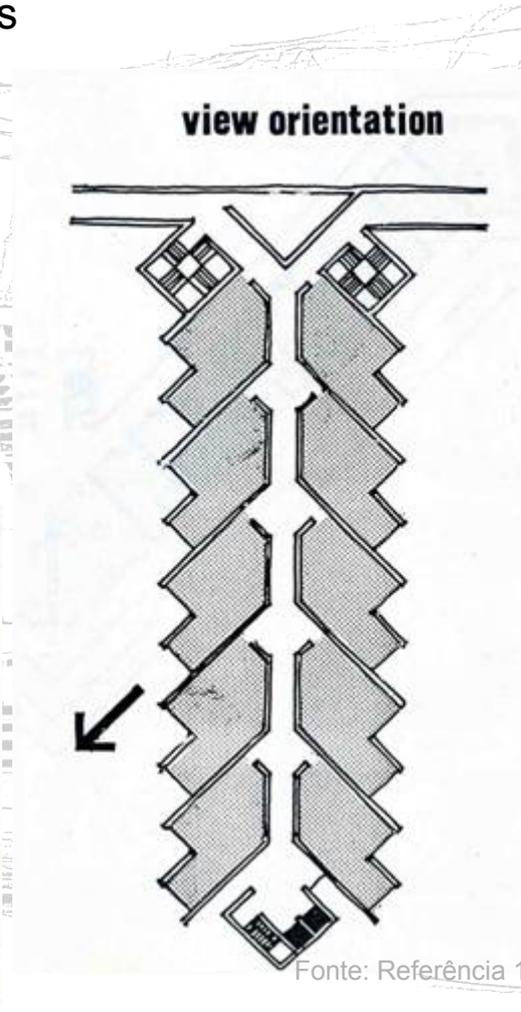
Fonte: Referência 1

Forma híbrida



Fonte: Referência 1

Forma híbrida



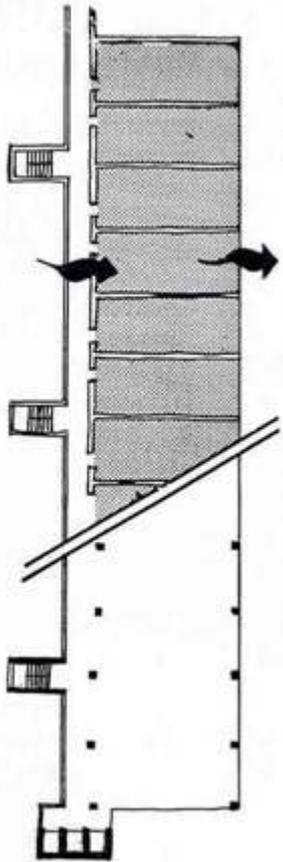
view orientation



Fonte: Referência 1

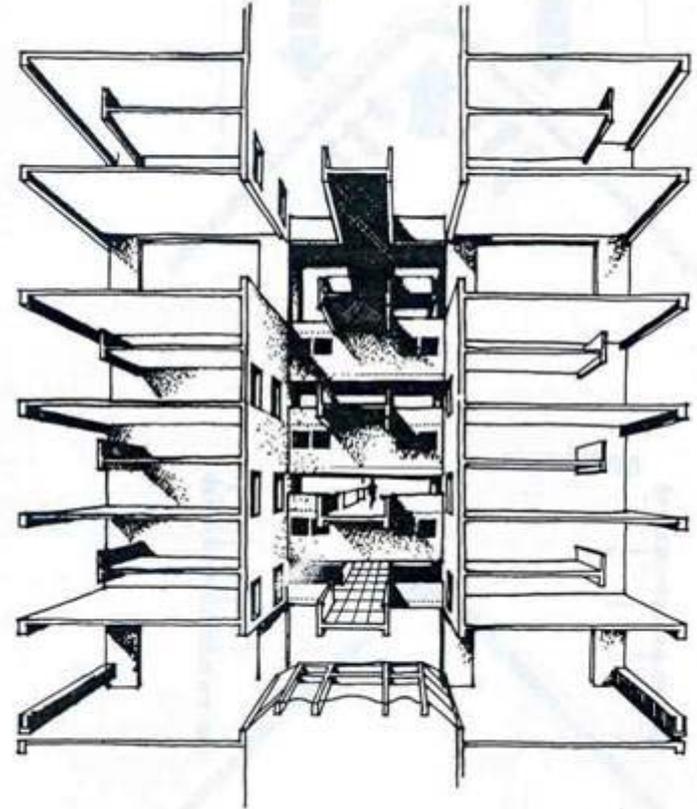
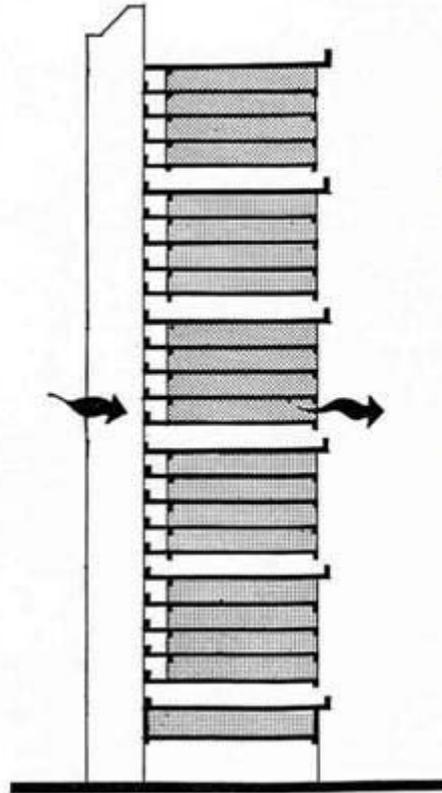
Orientações de vista

## A Proposta – considerações arquitetônicas



Fonte: Referência 1

Circulação de ar



Fonte: Referência 1

Uso de vão central

## A Proposta – considerações arquitetônicas

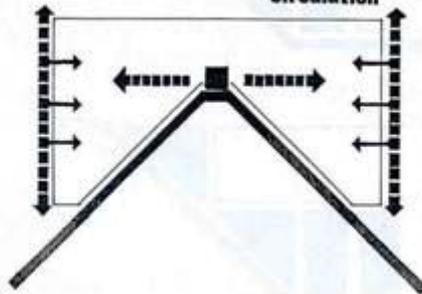
Esquema de forças

force diagram



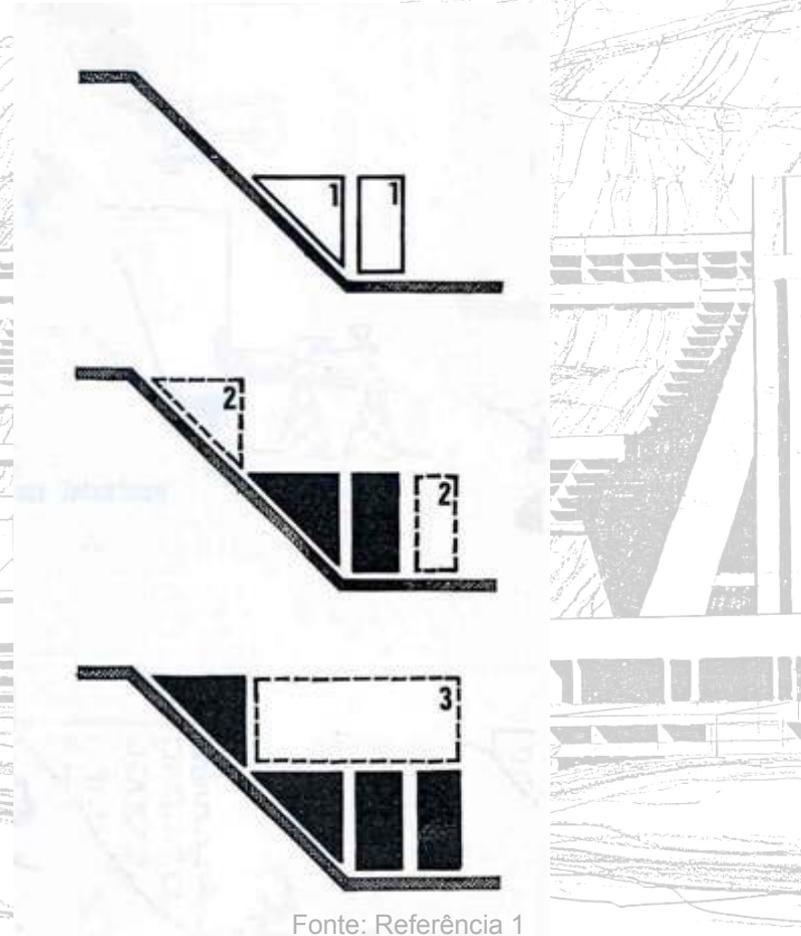
Circulação

circulation



Fonte: Referência 1

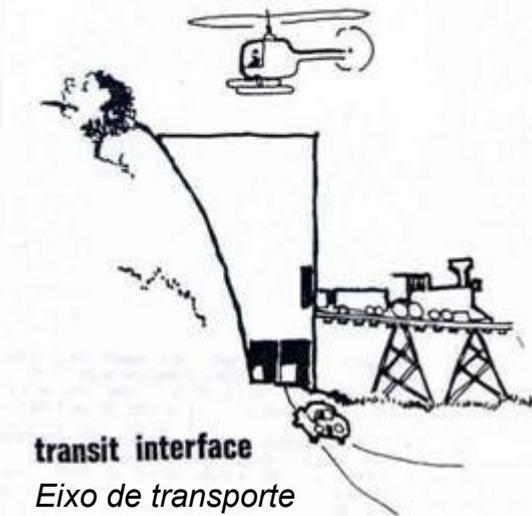
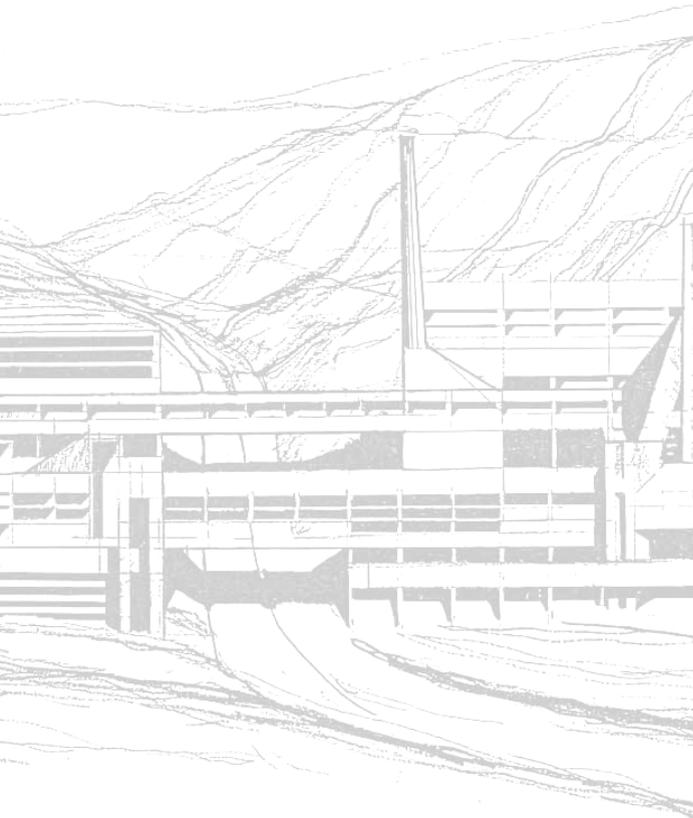
Forma quando acesso principal é sobre a colina



Fonte: Referência 1

Possibilidades de expansão/ampliação

## Aplicação - Exemplos de diferentes usos possíveis



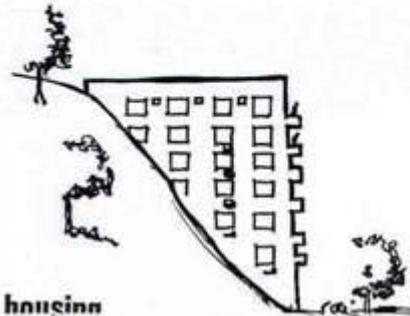
**transit interface**  
*Eixo de transporte*



**Complexo balneário resorts**

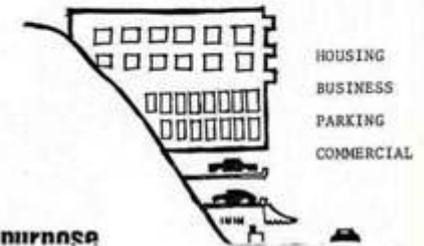


**OCEAN RESORTS**  
**SKI RESORTS**



**housing**

*Residências*



**multi purpose**

*Multi-finalidade*

## Aplicação – Diversidade e zoneamento

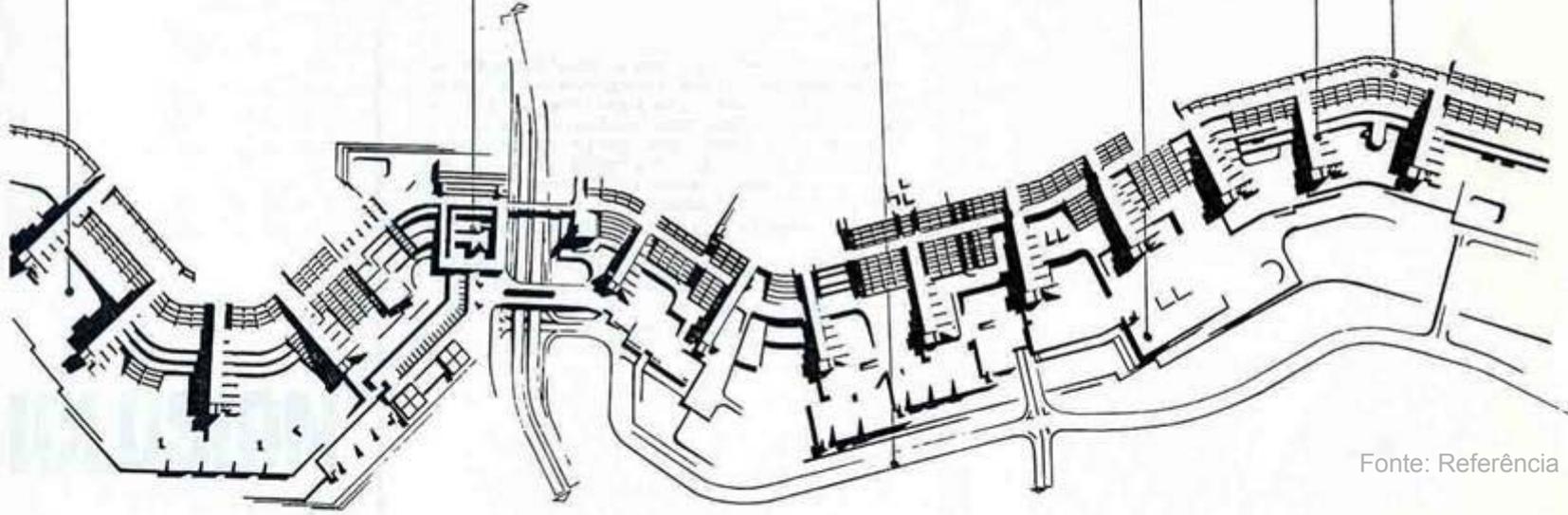
*Espaços livres*  
**open spaces**

*Centro comercial*  
**commercial center**

*Vias principais*  
**major thoroughfares**

*Escolas*  
**schools**

*Residências*  
**residential**



Fonte: Referência 1

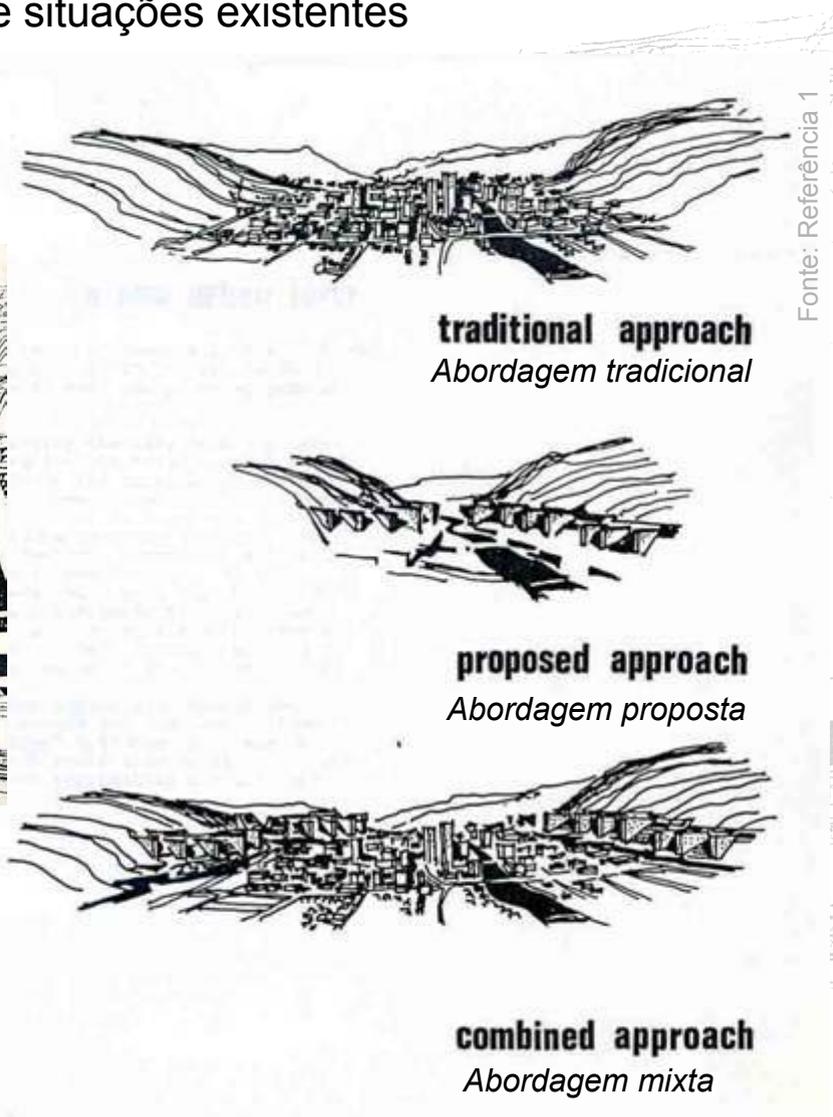
Adaptação para encosta irregular

## Aplicação – Adaptação de situações existentes



Fonte: Referência 1

Ilustração de exemplo



**traditional approach**  
*Abordagem tradicional*

**proposed approach**  
*Abordagem proposta*

**combined approach**  
*Abordagem mixta*

Fonte: Referência 1

## Aplicação - Alguns exemplos construídos desde 1969?



Exemplo em Quebec, Canadá

Fonte: <http://www.cs.concordia.ca/~blu/buildings.htm>

## Comentários

1. Custo total de fundações sempre vai ser maior do que com construção em plano.
2. Necessidade de estacas devido às altas forças na fundação no plano.
3. Altas forças de compressão, elementos se tornam críticos à estabilidade e integridade.
4. Não uniformidade de fundações causa assentamento diferencial entre volumes  $V_{sl}$  e  $V_{pl}$ . Isto exige uma conexão capaz de providenciar este movimento.
5. Elevadores são essenciais ao modelo.
6. Alta densidade de ocupação para viabilizar.
7. O modelo não está consciente da geomorfologia.
8. É possível adaptar para terrenos complexos.
9. Método caro para viabilizar residência no Brasil.
10. Método promove generalização de condições geotécnicas que não é responsável quando projetando torres e construção em encostas. Nada substitui uma boa e recente sondagem.

## Referências

1. Zalewski, W. P., Kirby, M. R., Goethert, R. K., **Building on Slopes: An Approach**, MIT, USA, 2nd Edition, March 1970
2. Diagrama de **rotação por ruptura circular** disponível no site :  
<http://www.ew.govt.nz/enviroinfo/hazards/naturalhazards/landslide/diagram.htm> acessado em 28 novembro 2004.
3. Diagrama de **fluxo súbito** disponível no site :  
<http://www.ew.govt.nz/enviroinfo/hazards/naturalhazards/landslide/diagram.htm> acessado em 28 novembro 2004.
4. Foto de **desmoronamento** disponível no site:  
[http://seis.natsci.csulb.edu/VIRTUAL\\_FIELD/Palos\\_Verdes/pvportuguese.htm](http://seis.natsci.csulb.edu/VIRTUAL_FIELD/Palos_Verdes/pvportuguese.htm) acessado em 28 novembro 2004.
5. Foto de **desmoronamento** disponível no site:  
[http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/images/lithosphere/mass\\_wasting\\_erosion/landslide\\_La\\_Conchita\\_CA\\_USGS\\_slide21.jpg](http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/images/lithosphere/mass_wasting_erosion/landslide_La_Conchita_CA_USGS_slide21.jpg) acessado em 28 novembro 2004.
6. Foto de **exemplo deste modelo de construção** disponível no site: Exemplo:  
<http://www.cs.concordia.ca/~blu/buildings.htm> acessado em 28 novembro 2004.