

*Universidade de Pernambuco
Escola Politécnica de Pernambuco
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil*

SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS PARA REDUÇÃO DA EROSÃO URBANA

Profa. Dra. KALINNY PATRICIA VAZ LAFAYETTE

Recife, Março de 2022.

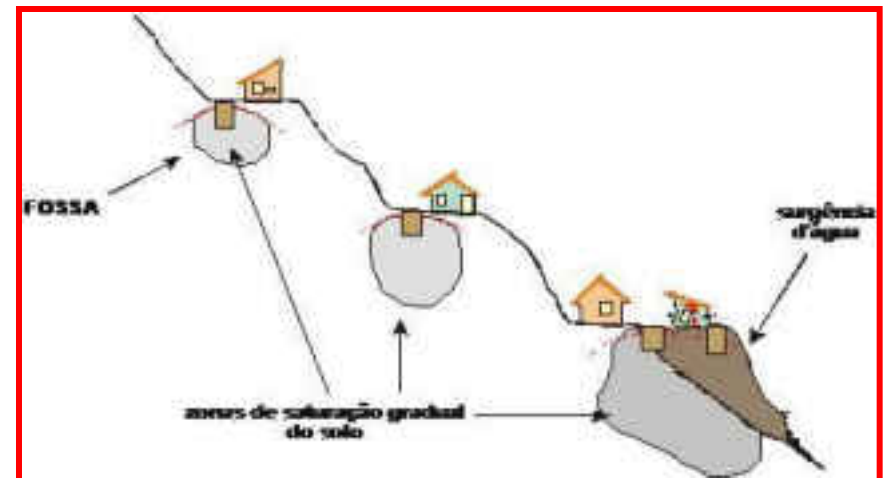
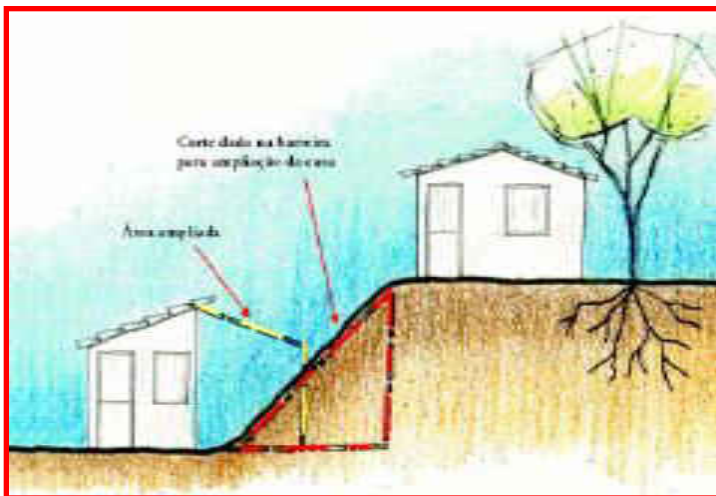


ENFOQUE

Codicionantes antrópicos

- Cortes e aterros
- Mineração
- Fossas sanitárias
- Desmatamento
- Lançamento de água no solo
- Lixo e entulhos

Desenvolvimento de processos erosivos de grande magnitude



ENFOQUE



- Retirada da cobertura vegetal;
- Cortes e aterros;
- Deposição irregular de resíduos;
- Alteração da drenagem;
- Construções.

Cortes para construções de casas.



condicionantes antrópicos

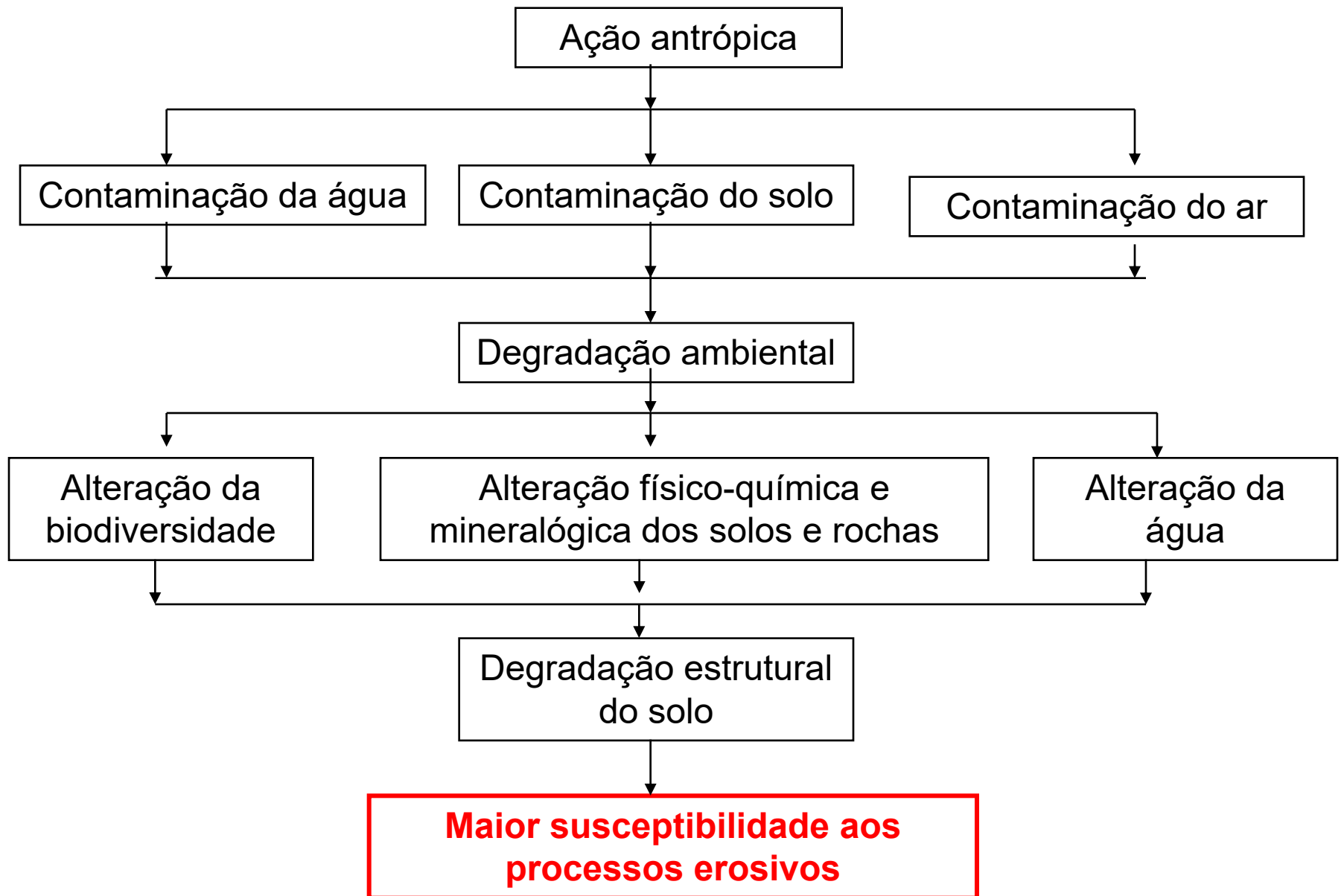


FATORES MODULADORES

- **Clima e regime de precipitação**
- **Grau e tipo de intervenção no meio ambiente**
- **Tipo de cobertura do solo**
- **Taxa de impermeabilização/infiltração**
- **Tipo de solo**
- **Geomorfologia**
- **Geologia**
- **Posição do lençol freático**
- **Qualidade da água**



DEGRADAÇÃO AMBIENTAL



IMPACTOS AMBIENTALES

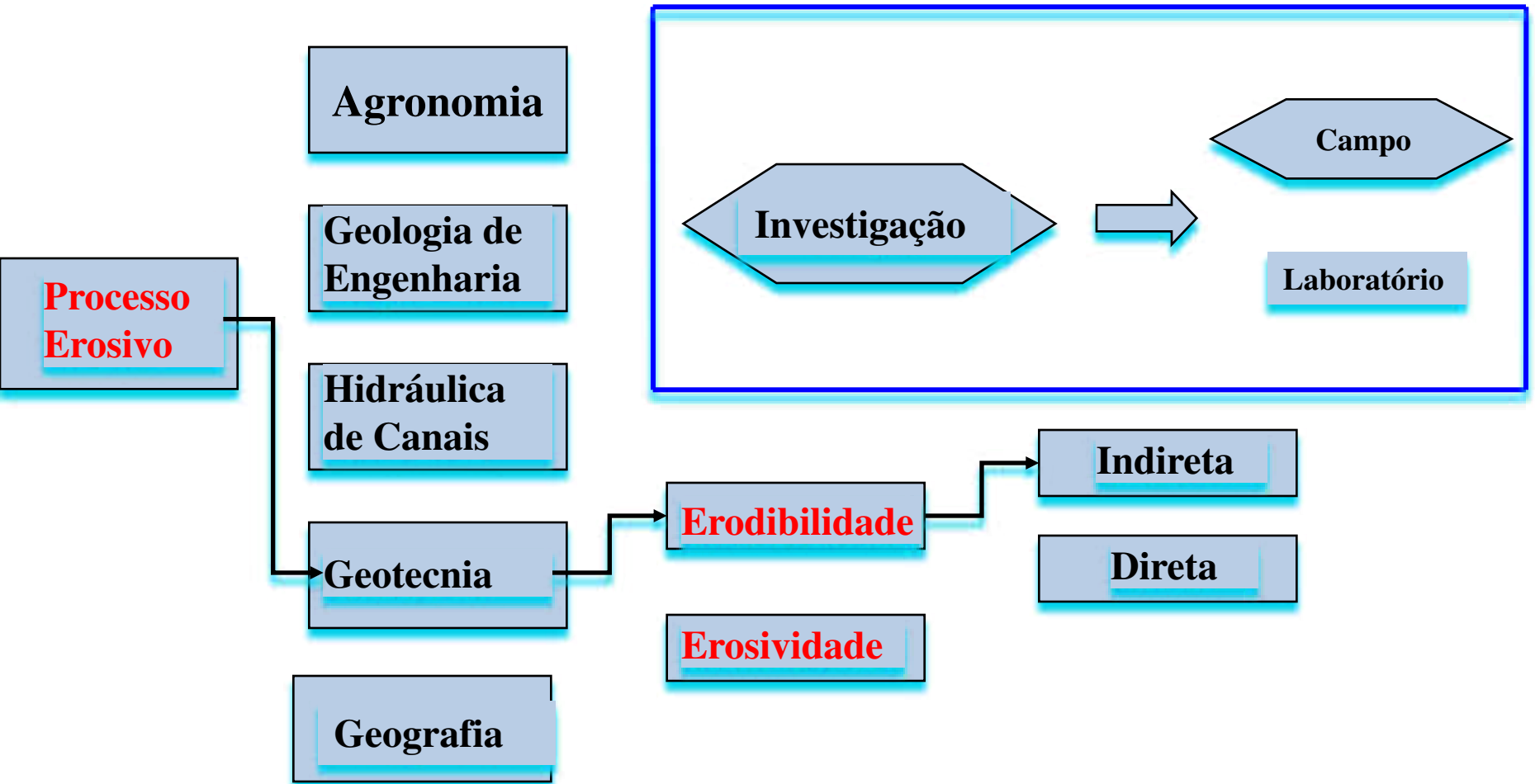


IMPACTOS AMBIENTAIS



EROSÃO

ÁREAS DE CONHECIMENTO PARA O ESTUDO DO PROCESSO EROSIVO



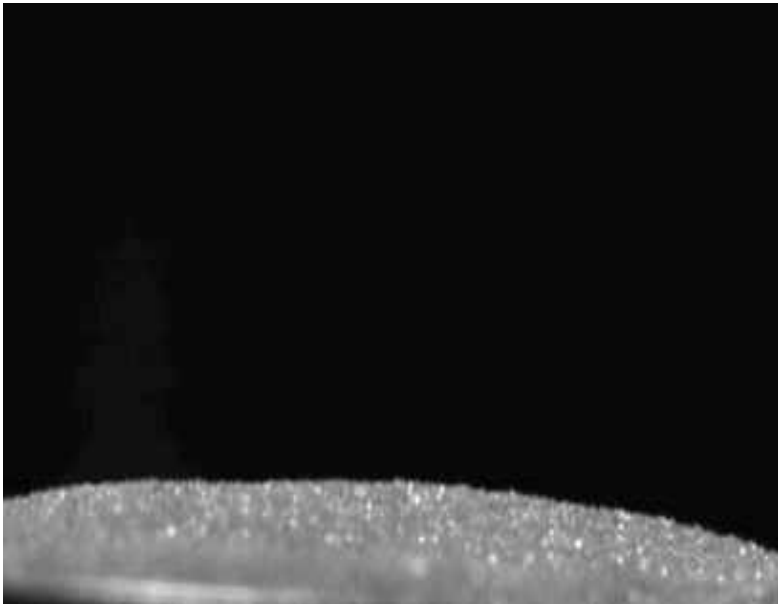
DEFINIÇÃO

EROSÃO: conjunto de processos pelos quais os materiais terrosos e rochosos da crosta são desagregados, desgastados ou dissolvidos, pela ação dos agentes erosivos, como a água (**erosão hídrica**), gelo (**erosão glacial**), neve (erosão nival), vento (**erosão eólica**), plantas (**erosão fitogênica**), animais (**erosão zoogênica**) e homem (**erosão antrópica**).

TIPOS DE EROÇÃO HÍDRICA

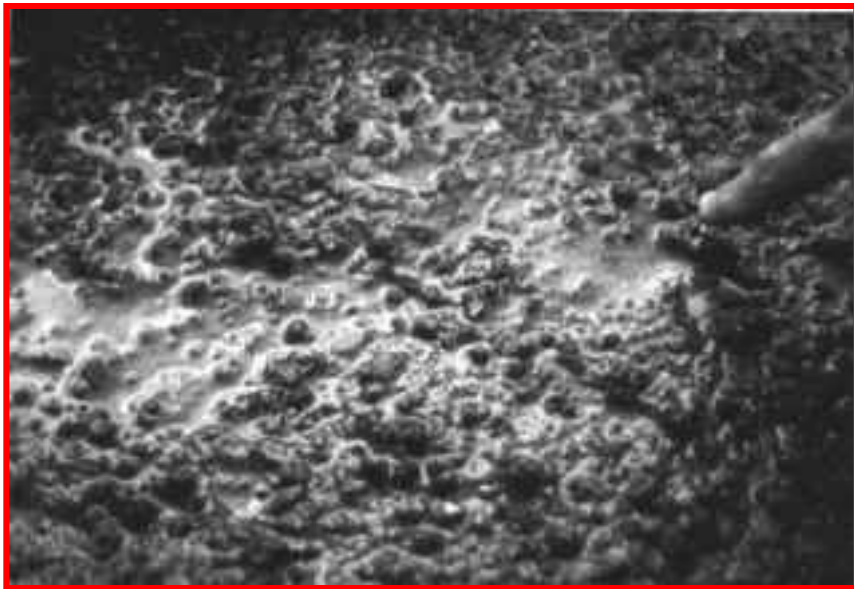
EROSÃO PLUVIAL

Também denominada por *embate*, decorre da energia de impacto do agente de encontro ao solo, que além de desintegrar parcialmente os agregados naturais, libertam as partículas finas, projetando-as para fora do maciço.



EROSÃO LAMINAR

Denominada também de *erosão em lençol*, ocorre durante fortes precipitações, quando o solo está saturado, produzindo um desgaste suave e uniforme, sendo comum em regiões semi-áridas.

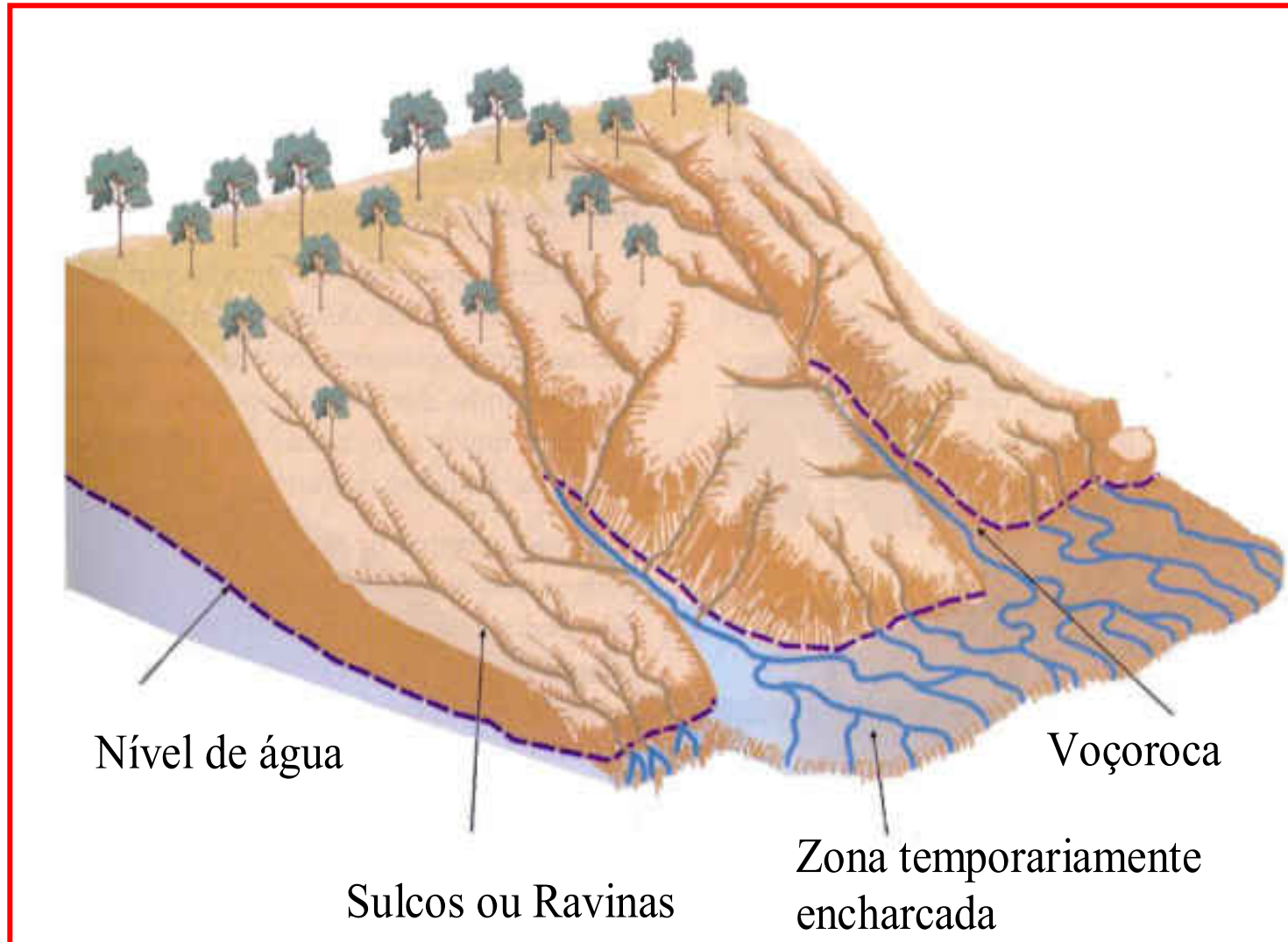


EROSÃO LINEAR

Corresponde às formas de erosão por escoamento superficial concentrado ou *rill erosion*, e que comanda o desprendimento e o transporte das partículas do solo, segundo as condições hidráulicas desse escoamento.

No estudo da erosão linear (calhas, sulcos, ravinas e voçorocas), além do entendimento dos fatores naturais, é fundamental conhecer o comportamento das águas de chuva e do lençol freático.

• EROSÃO LINEAR



CALHAS

Tipo de erosão em forma de canal, originada pelo escoamento concentrado das águas superficiais, também são pouco profundas como os sulcos, porém, possuem bordas suaves e largura inferior a cinco metros.



SULCOS



RAVINAS

Corresponde ao canal de escoamento pluvial concentrado, apresentando feições erosionais com traçado bem definido. A cada ano o canal se aprofunda, devido à erosão das enxurradas, podendo atingir alguns metros de profundidade.



RAVINAS



VOÇOROCAS

É o estágio mais avançado da erosão acelerada, correspondendo à passagem gradual do processo de ravinamento, até atingir o lençol freático, com o aparecimento de água. Este tipo de processo atinge grandes dimensões, gerando vários impactos ambientais.



VOÇOROCAS



FORMAS PARTICULARES DE EROÇÃO

Erosão em Pedestal

Bastante comum no interior das ravinas e voçorocas. Ocorre quando o solo erodível é protegido da erosão em splash seja por uma pedra ou pela raiz de uma árvore, isolando pedestais.



FORMAS PARTICULARES DE EROÇÃO

Erosão em pináculo

Deixa altos pináculos isolados nos lados e fundos das ravinas e voçorocas, estando usualmente relacionado com a dificuldade do solo em ser erodido.

Erosão da fertilidade do solo

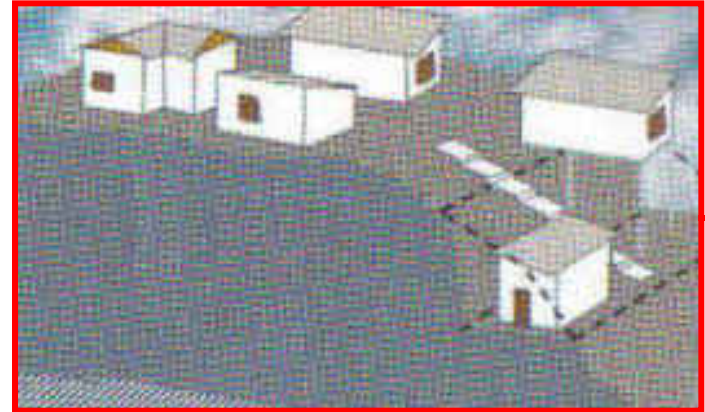
É provocada pela perda de nutrientes das plantas por diluição da água, sem ocorrer qualquer remoção física do solo

EROSÃO EM ÁREAS URBANAS

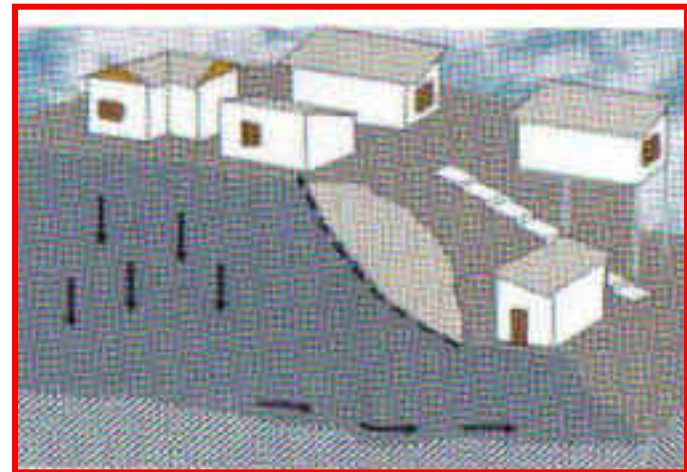
EROSÃO URBANA



Terreno utilizado como bota-fora de obras

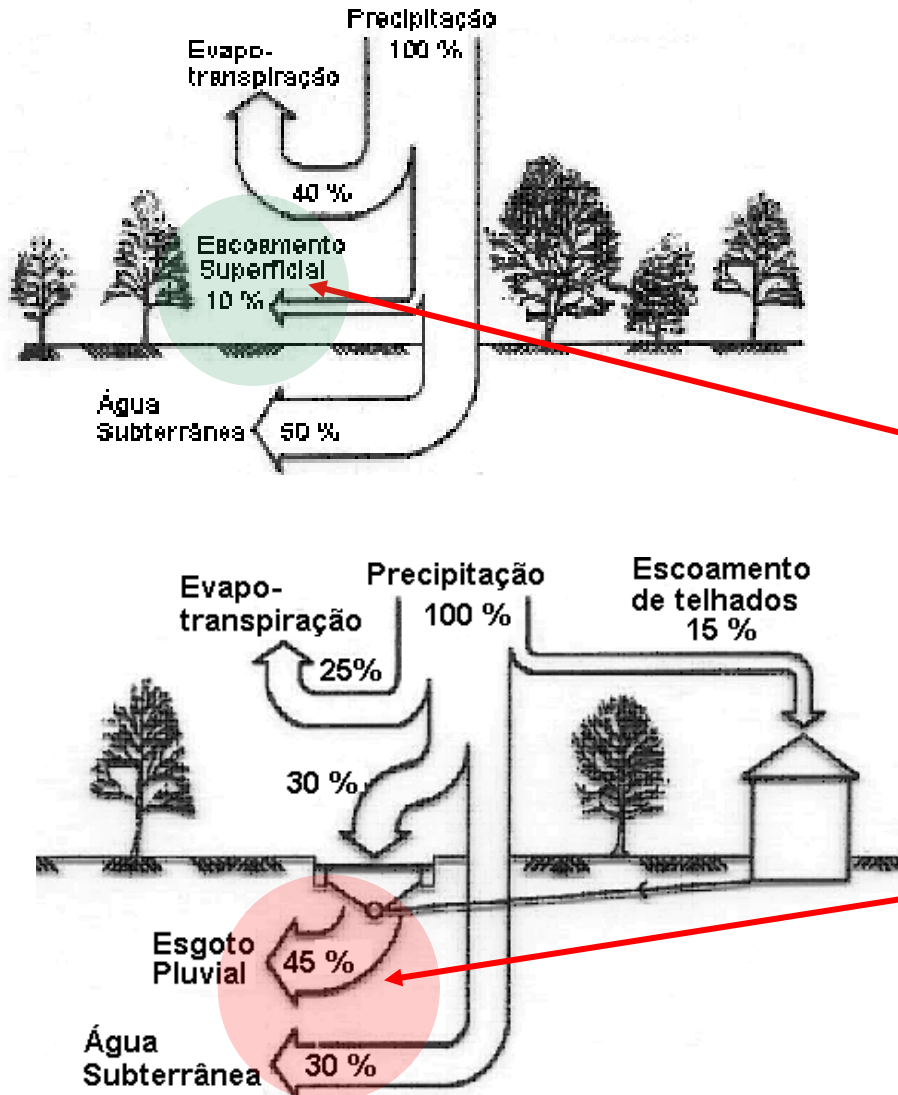


Pontos de instabilização de encostas



Trincas nos terrenos e rachaduras nas paredes das casas

EFEITO DA URBANIZAÇÃO SOBRE O COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO



EFEITO DA URBANIZAÇÃO SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL

- **aumento das vazões máximas** (em até 7 vezes) e antecipação dos picos de cheia devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- **aumento da produção de sedimentos** devido a desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos;
- **forma desorganizada como a infra-estrutura urbana é implantada, etc.**

CONSIDERAÇÕES SOBRE A EROSÃO EM MEIO URBANO

Resultado da ocupação e do uso do solo sem o devido cuidado e planejamento, propiciando alterações no escoamento superficial susceptíveis de gerar erosão laminar



Alargamento e evolução remontante das erosões destroem casas e obras públicas – Planaltina –GO.

Quando as águas são conduzidas por sistemas apropriados, o problema pode ter origem no ponto de lançamento das águas captadas pelas galerias de drenagens ou emissários.



Recanto das Emas - DF

Os incrementos brutais das vazões, por ocasião das chuvas, aliando-se as variações dos níveis freáticos, conferem aos processos erosivos uma dinâmica acelerada, com avanços de dimensões imprevisíveis.



(a) Anápolis – GO / (b) Ceilândia - DF

ALTERNATIVAS PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA EROÇÃO

- **Detenção de águas à montante**
- **Obras na microdrenagem e pavimentação**
- **Obras na macrodrenagem**
- **Drenos**
- **Dissipadores de energia**
- **Estabilizadores de taludes**
- **Reaterro de erosões**

DETENÇÃO DE ÁGUAS À MONTANTE

a) Preservação da vegetação nativa

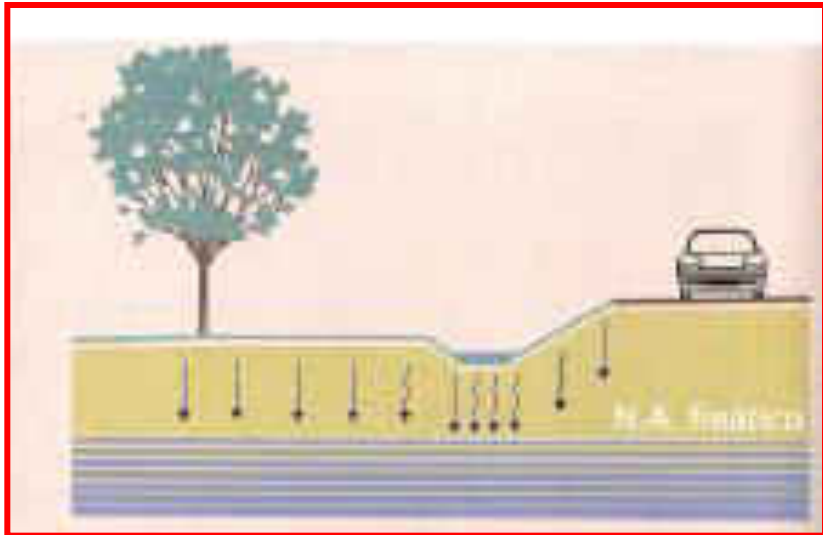
O papel da cobertura vegetal é primordial. A preservação de árvores e gramíneas reduzirá a energia de impacto das gotas de chuva na camada superficial do solo, além de melhorar as condições de infiltrabilidade e reduzir a velocidade do fluxo superficial.



Em loteamentos está ganhando força o conceito “loteamento verde”, em que apenas poucas ruas e nenhum lote são desmatados inicialmente. A remoção só é feita na véspera dos serviços de pavimentação ou construção das casas



b) Sistema de infiltração



Valetas de infiltração

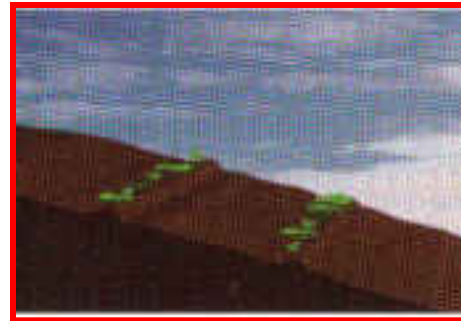


c) Curvas de nível

- Curva de nível + Terraceamento



Áreas agrícolas



Áreas Urbanas



Ruas devem acompanhar as curvas de nível para obrigar trajetórias menos agressiva das águas pluviais



MICRODRENAGEM E PAVIMENTAÇÃO

Microdrenagem: conjunto de obras de pequeno porte que conduzem ou recebem um volume ainda pequeno de águas pluviais

- Sarjetas
- Boca-de-Lobo
- Galeria de pequeno diâmetro



DRENOS

- A função do dreno não é de conduzir águas pluviais ou de cursos d'água, pois estas são transportadas na macro e microdrenagem. Os drenos serão **responsáveis para controlar os afloramentos do lençol freático.**

Mesmo quando as águas superficiais são captadas por sistemas apropriados de redes de galerias, constata-se com freqüência o desenvolvimento de erosão no ponto de lançamento, devido a falta ou ineficiência de sistemas de dissipação de energia



Galeria sem dissipador de energia.



Lançamento do sistema de drenagem sem execução de dissipador de energia

ESTRUTURAS DE COMBATE E DISSIPACÃO



Técnicas de Engenharia Naturalística.

- **Estabilização de Taludes**

Finalidade Básica:

Estabilizar os taludes à erosão / escorregamentos causada pelas águas das chuvas e subterrâneas.

Retaludamento da encosta;

Reaterro das erosões;

Revegetação (proteção superficial);

Obras de contenção.

• RETALUDAMENTO DA ENCOSTA



Retaludamento; drenagem e revegetação



Erosão antes e após a intervenção – DF - 070

REATERRO DE EROSÕES

É necessário reaterrar ou a simples estabilização da erosão seria suficiente?

A execução de reaterro, quando necessária, deve ser a última ação no processo de recuperação. Todos os outros problemas como disciplinamento de água a montante, sistema de drenagem interno, drenos, etc. já devem ter sido executado, pois caso contrário todo o material do aterro corre o risco de ser erodido novamente.



REATERRO DE EROSÕES COM RCD

A disposição de entulhos em erosões poderia ser uma medida que resolveria dois problemas ambientais ao mesmo tempo:

- Recuperação da erosão
- Disposição correta de um resíduo na natureza



Erosões após o lançamento de grande quantidade de entulhos

REATERRO DE EROSÕES COM RCD

O emprego de entulhos poderia ser admitido como uma prática recomendada na recuperação de erosões, se executada com critério. Os materiais a serem lançados deveriam ser inertes. No projeto deve-se avaliar:

- Quais as substâncias serão transportadas pelo fluxo das águas que percolarão pelo aterro;
- A deformabilidade que o aterro terá;
- Entulho com elevada permeabilidade funcionará como dreno, sendo necessário a camada de filtro em contato com o lençol freático de modo a evitar a erosão interna;
- O que poderá ser construído sobre este aterro.

REVEGETAÇÃO DA ENCOSTA

Aplicação de Compósito Biotécnico.



Aplicação de sucessivas paliçadas

OBRAS DE CONTENÇÃO



Mureta com 20 cm de altura máxima, decisiva para proteção do gramado a montante e da sarjeta de drenagem a jusante.



Contenção com pneus



UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO NÃO TRIPULADO (VANT)

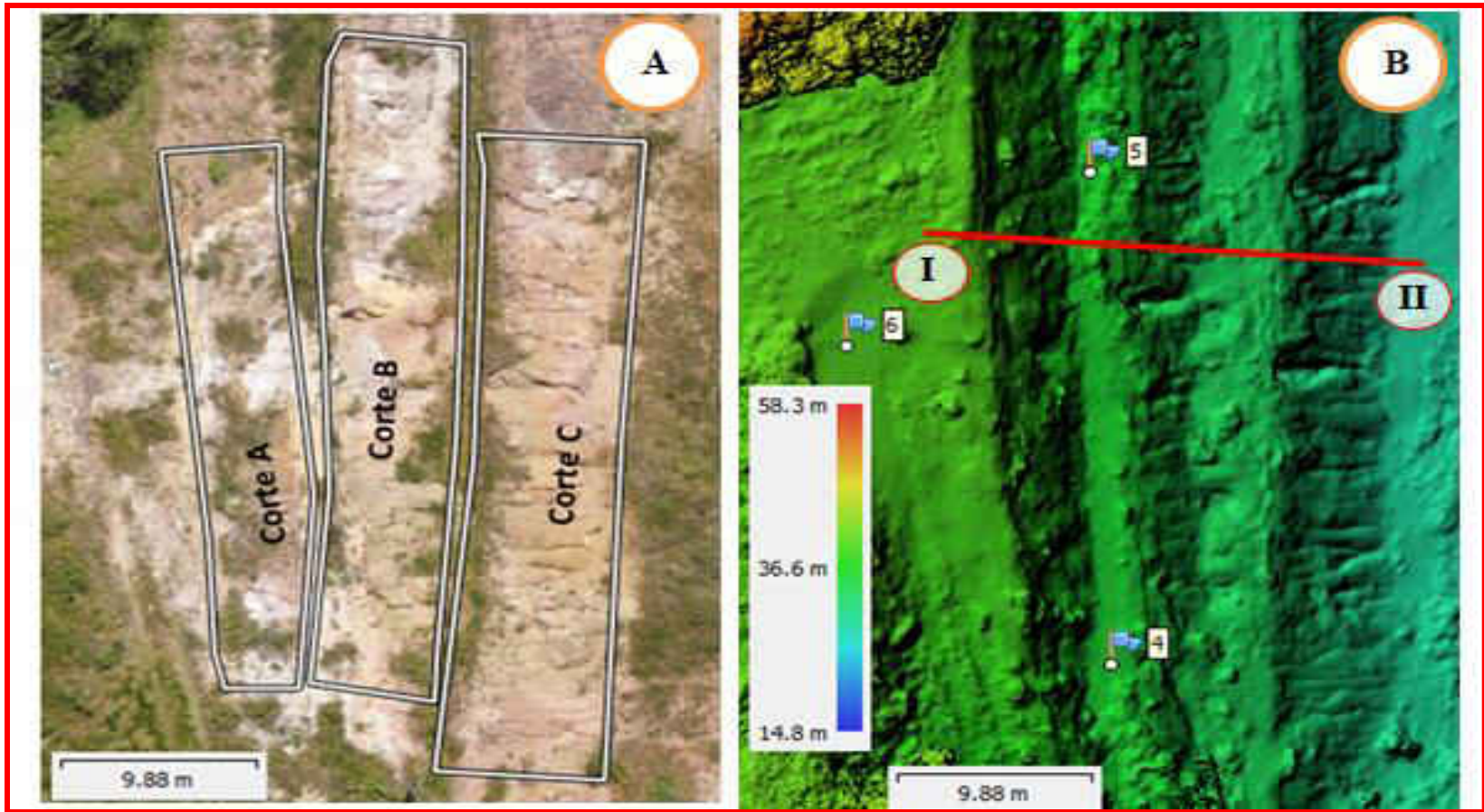


VANT modelo PHANTOM 4-PRO.



Ausência de vegetação na encosta

UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO NÃO TRIPULADO (VANT)

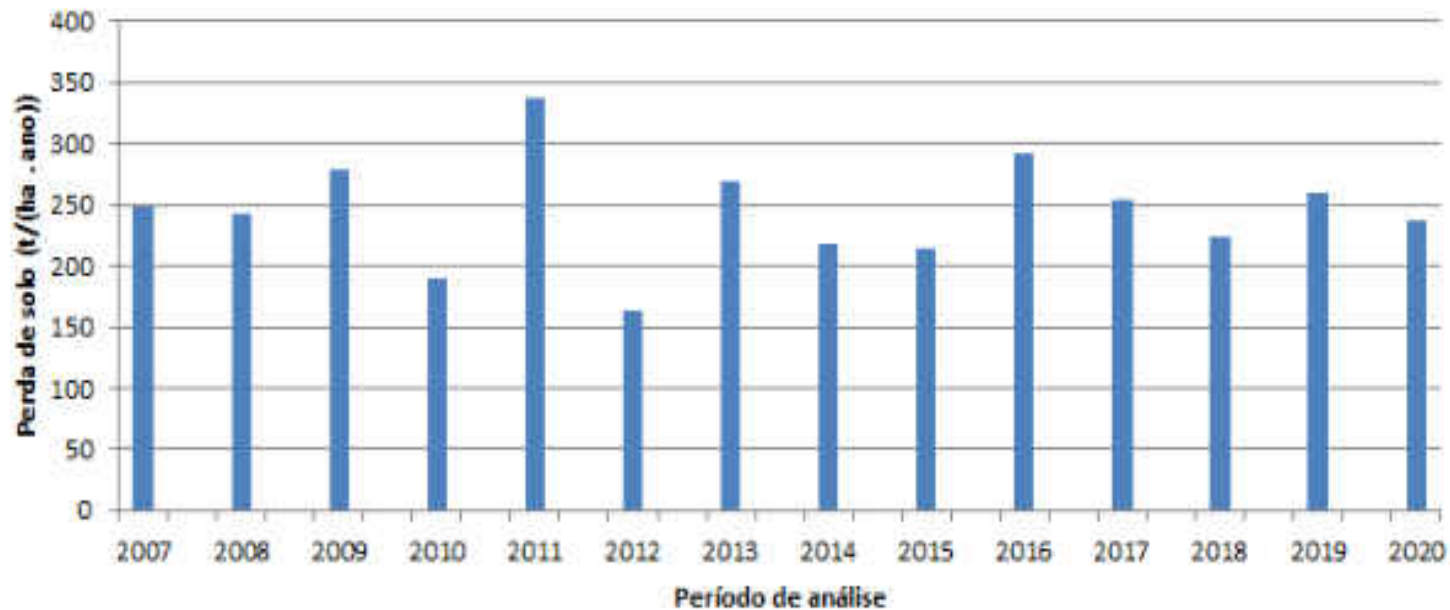


A) Ortomosaico com a delimitação dos cortes da encosta; B) Modelo digital de elevação.

UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO NÃO TRIPULADO (VANT)



Erosão acelerada na encosta



Perda de solo
na encosta

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS ERODIDAS

Experiência na RMR

- **localização**

BR 101, Km 69

- **clima**

as' koppen

precipitação: 1500 a 2000 mm/ano

temperatura média anual: 23°C

- **reserva florestal**

área: 4,0 km

remaneste de mata atlântica 370 ha

mata de dois irmãos

formação barreiras

HORTO DE DOIS IRMÃOS



Coutinho et al. (1999)

SOLUÇÃO PROPOSTA PARA RECUPERAÇÃO

Estudos geotécnicos (campo/laboratório)

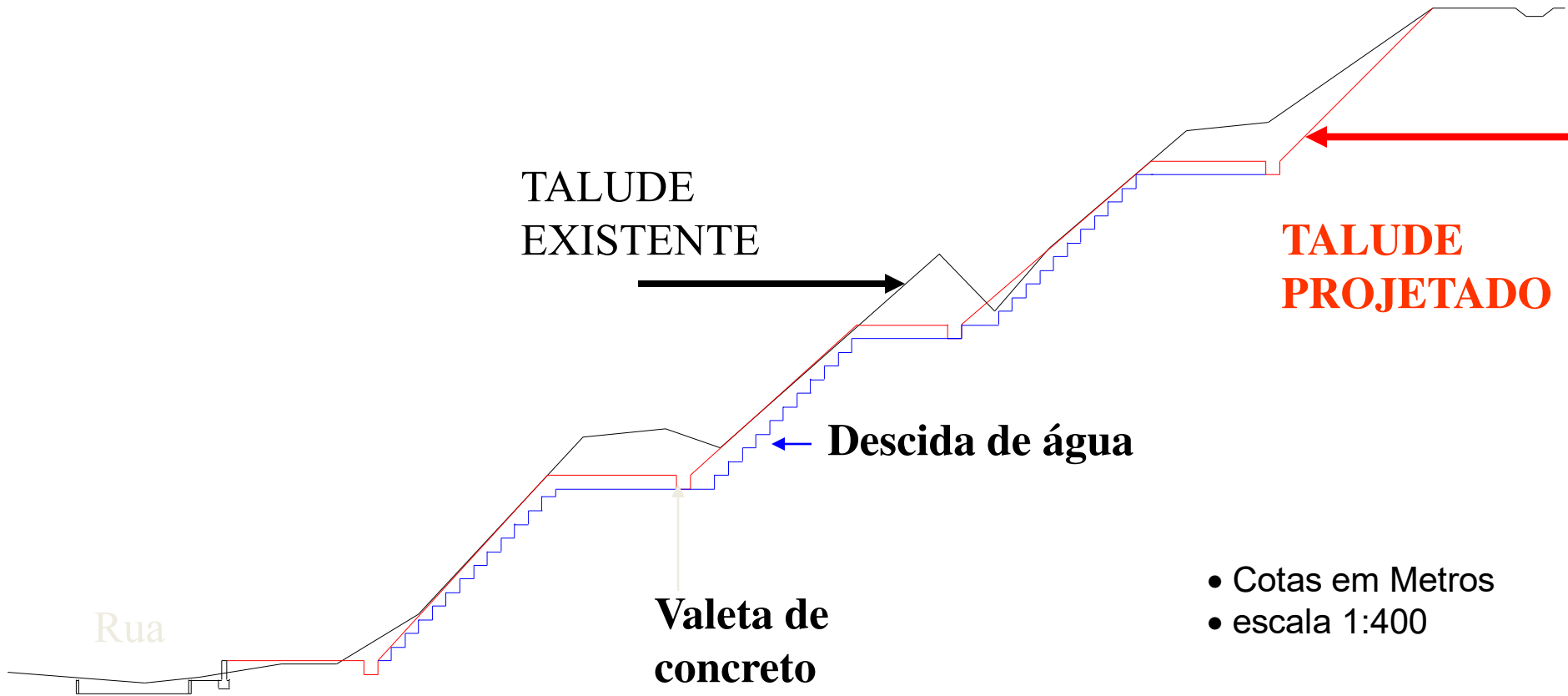
Mudança na geometria/ Retaludamento

Preenchimento de áreas erodidas

Proteção superficial (gramínea)

Drenagem superficial

HORTO DE DOIS IRMÃOS



Comparação entre uma seção erodida e a projetada

HORTO DOIS IRMÃOS



RETALUDAMENTO

HORTO DOIS IRMÃOS



Compactação
com o “SAPO”.



Compactação manual.

HORTO DOIS IRMÃOS



Implantação da Cobertura Vegetal



Resultado Final.

ARAÇOIABA - PE



ARAÇOIABA - PE



UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS EM ÁREAS DEGRADADAS PELA EROSÃO

Reforço de solo com fibras sintéticas: Fibras de PET

A incorporação de elementos mais resistentes à tração numa matriz de solo é empregada para melhorar as propriedades geotécnicas dos solos (ROCHA, 2019).

- Não degradáveis;
- Excelentes propriedades mecânicas;
- Quimicamente neutras.
- Resistência ao cisalhamento;
- Resistência à Compressibilidade;
- Rigidez;
- Estabilidade volumétrica.

UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS EM ÁREAS DEGRADADAS PELA EROSÃO

Encosta de estudo no município de Olinda/PE.



Encosta de estudo após a ocorrência de deslizamento.



Desenvolvimento da Pesquisa

MATERIAIS E MÉTODOS

Dinâmica de Ocupação da Encosta:

- Análise Temporal; e
- Análise de Risco.



Ensaio de Caracterização:

- Caracterização Física;
- Caracterização Mecânica; e
- Caracterização Química e Mineralógica.



Seleção da Área de Estudo:

- Coleta dos Materiais; e
- Definição dos Teores das Misturas.

Solo sendo coletado da área de estudo

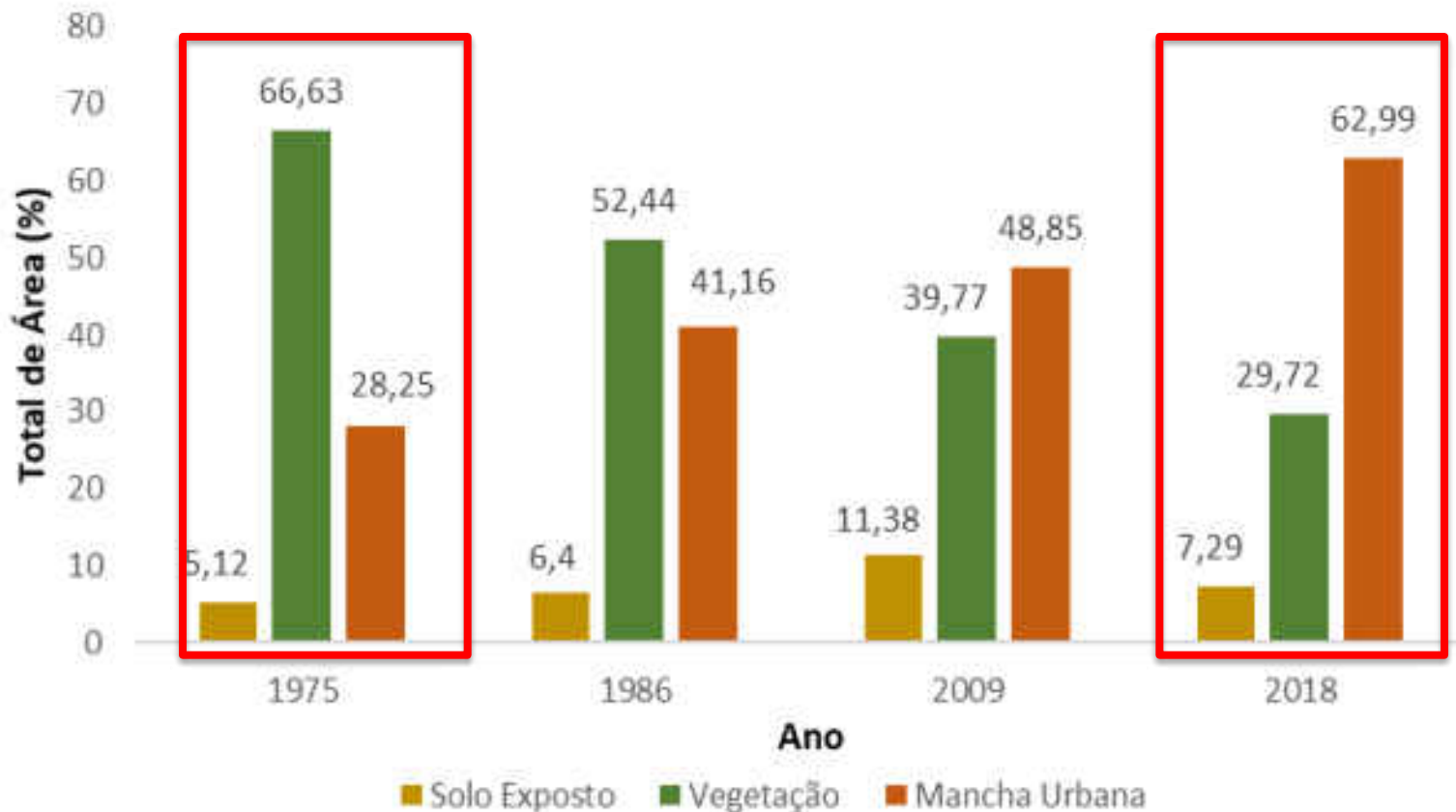


Agregado reciclado (RCD)

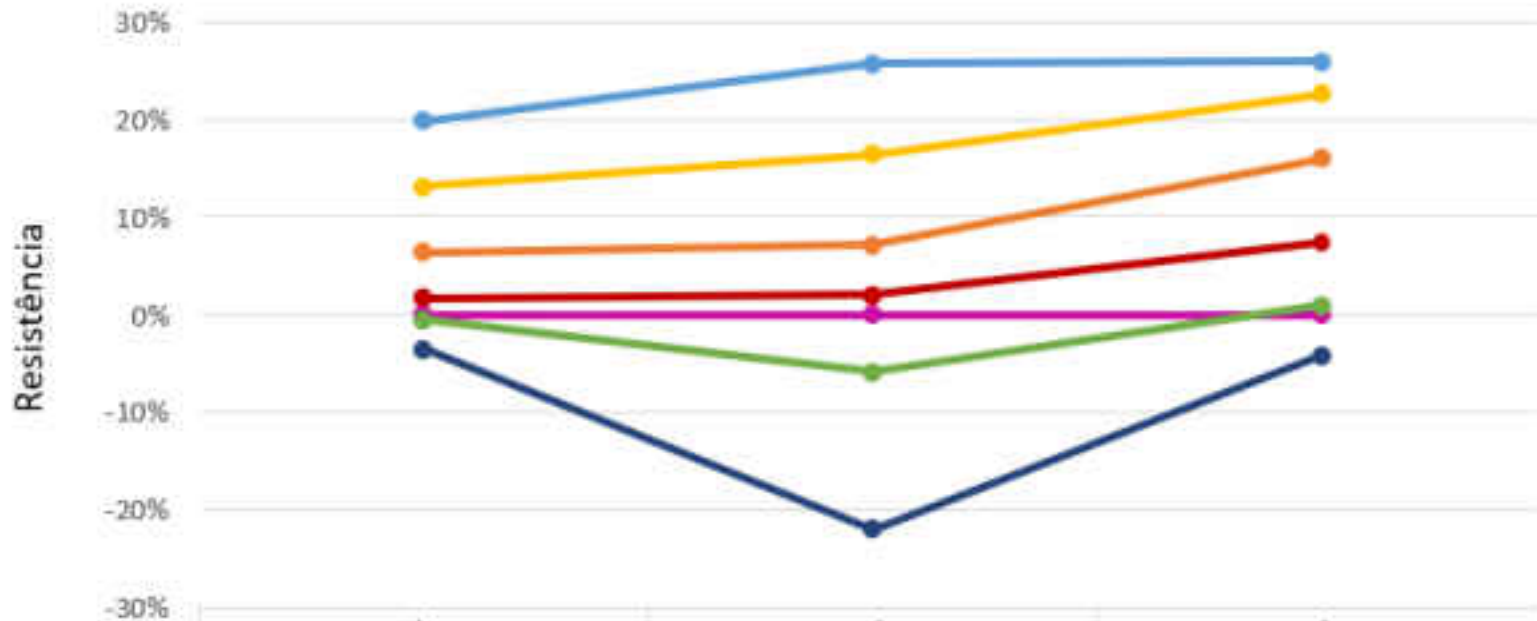


Análise Temporal

Percentuais das áreas para os anos de 1975, 1986, 2009 e 2018



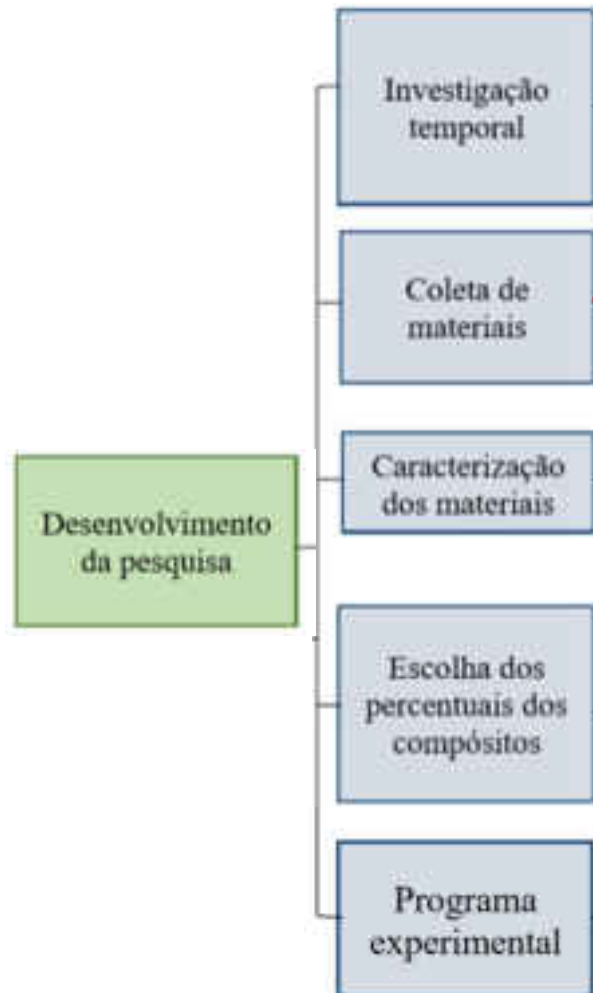
Taxa de crescimento das RCS dos compósitos para as diferentes idades.



	7 dias	28 dias	60 dias
Solo (100%)	0%	0%	0%
Solo + 0,5 FIBRA	6,42%	7,15%	16,02%
Solo + 1% FIBRA	1,68%	2,01%	7,41%
Solo + AR 30% + 0,5 FIBRA	13,15%	16,49%	22,61%
Solo + AR 30%	19,85%	25,74%	25,92%
Solo + AR 50% + 1% FIBRA	-0,54%	-5,90%	0,94%
Solo + AR 50%	-3,53%	-22,03%	-4,13%

UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS EM ÁREAS DEGRADADAS PELA EROSÃO

Encosta- Ilha de Itamaracá



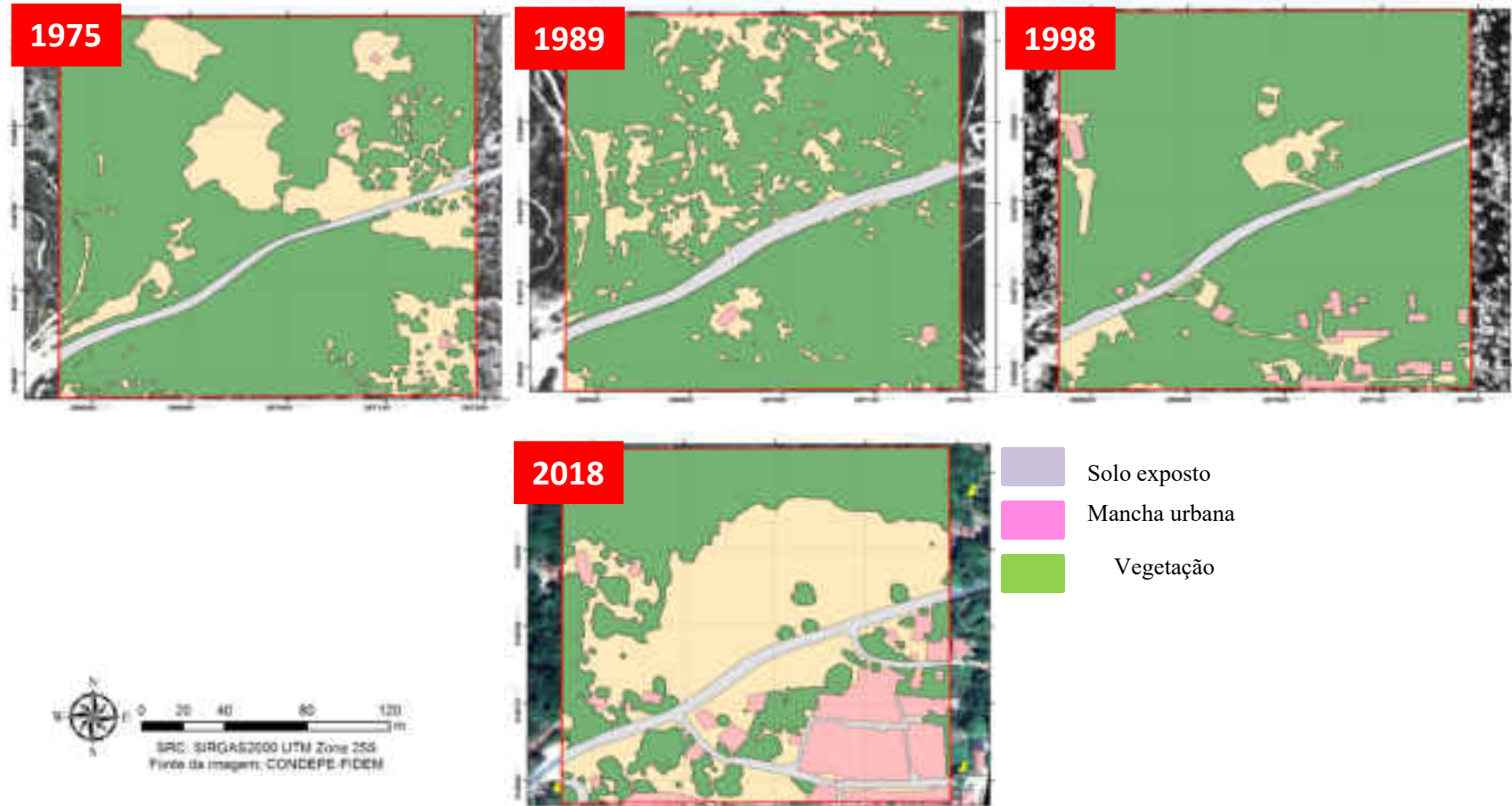
- ❖ Solo
- ❖ RCC – Classe A
- ❖ Fibra de coco babaçu

Processo de beneficiamento das fibras de coco babaçu



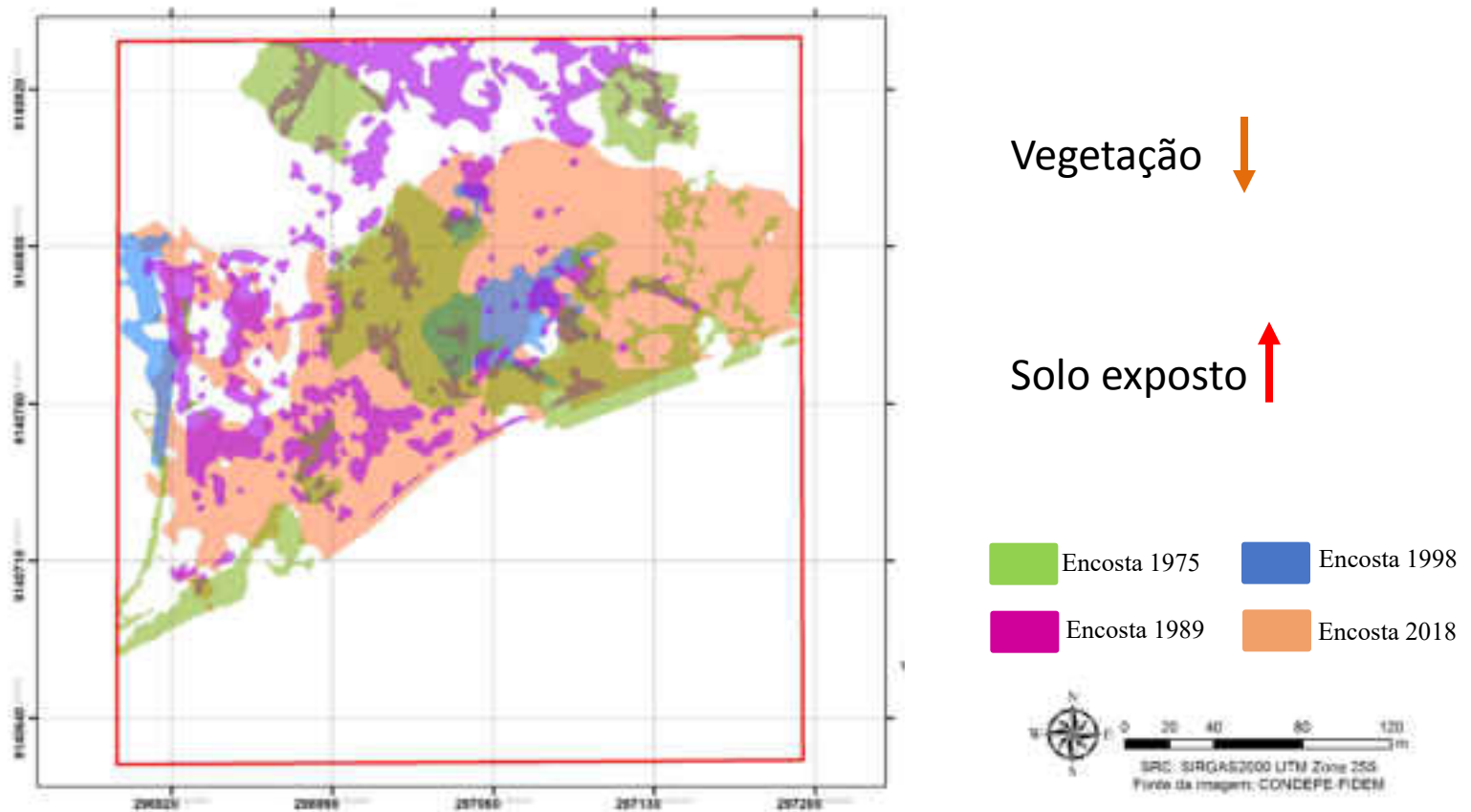
UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS EM ÁREAS DEGRADADAS PELA EROSÃO

Impactos ambientais na área da encosta



UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS EM ÁREAS DEGRADADAS PELA EROSÃO

Evolução da área de encosta entre 1975, 1989, 1998 e 2018



UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS EM ÁREAS DEGRADADAS PELA EROSÃO

Caracterização Mecânica - Compressão Simples

Amostra	7 dias (kPa)
Solo*	182
RCC*	132
S99F1	499
S99,5F0,5	408

REFERÊNCIAS

- **COUTINHO, R. Q.; SOUZA NETO, J. B. de ; SANTOS, L. M. ; LAFAYETTE, K. P. V. (2006). “Geotechnical Characterization of on Unsaturated Soil in the Barreiras Formation, Pernambuco, Brazil”. In: Unsaturated Soils Conference 2006, 2006, ARIZONA, ASCE, V.2, p.1627-1638.**
- **DAEE-IPT (1990) “Controle e erosão: Bases conceituais e Técnicas - Diretrizes e bases para o planejamento urbano e regional - orientações para o controle de boçorocas urbanas de São Paulo”, 2ª edição.**
- **FAO (2000) “Fertilizer requeriments in 2015 and 2030”. Rome, food and agriculture Organization. Fttp: //ftp.fao.org/agl/agll/docs/barfinal.pdf[Geo-2-166].**

REFERÊNCIAS

- **FOSTER. G. R; LANE, L. J; NEARING, M. A.; FINKNER, S. C. FLANAGAN, D. C. (1989) “Erosion component”. In. LANE. L.J NEARING,M.A.eds.USDA – Water erosion prediction project: hillslope profile model documentation, W.Lafayette. USDA – ARS – Natinal soil Erosion Research Laboratory. (NSERL Report, N 2).**
- **KARMANN, I. (2000) “Ciclo da água, Água subterrânea e sua ação geológica”. Decifrando a Terra. W. Teixeira, M. C. M. Toledo, T. R. Fairchild & F. Taioli (org). Oficina de Textos, São Paulo, p.114-138.**
- **LAFAYETTE, K.P.V. (2006) Estudo geológico-geotécnico do processo erosivo em encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti- Cabo de santo Agostinho/PE, Tese de Doutorado, UFPE, 358p.**



OBRIGADA.

Profa Kalinny P. V. Lafayette, D.Sc

Klafayette@poli.br

klafayette@gmail.com