

## **Avaliação do uso de observações em superfície real para análise geomorfológica de índice de eficiência de drenagem: um estudo de caso no maciço da Tijuca – RJ**

Manoel do Couto Fernandes<sup>1</sup>  
Paulo Márcio Leal de Menezes<sup>1</sup>  
André de Souza Avelar<sup>2</sup>  
Ana Luiza Coelho Netto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UFRJ - Depto de Geografia - Lab. de Cartografia (GEOCART)  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - 21941-916 - Cidade Universitária - RJ, Brasil  
{mfernandes, pmenezes}@acd.ufrj.br

<sup>2</sup> UFRJ - Depto de Geografia - Lab. de Geo-Hidroecologia (GEOHECO)  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - 21941-916 – Cid. Universitária - RJ, Brasil  
{andreavelar, ananetto}@acd.ufrj.br

**Abstract.** Geomorphology analyses are essentially to understand some characteristic that defines landscape structure and function at temporal scale established. In this kind of analysis the geoprocessing is an essential tool, because congregates several technologies that help in this work. However, some questions comes up and they need to be solved through scientific investigations. One of these questions is that there is no consideration of the dimension of data and information to be used, which are not valued from observations on real surface, thus it can not interpret geomorphology elements of a landscape correctly. Even having a range of options to work with the dimensionality of the elements the geoprocessing techniques have a limitation established by the non-consideration of the surface irregularity. This difference is greater in landscape of irregular relief and can change some results in geomorphologic analyses. This paper has the purpose to verify the difference between observations on real surface and planimetric to geomorphology analysis of drainage efficiency index (DEI). The study was conducted in Tijuca massif - Rio de Janeiro, using topographic maps on a scale of 1:10.000 and different geoprocessing techniques, like digital elevation models and geographic information systems. The results show several differences in geomorphology analyses when observations were used on real surface.

**Palavras-chave:** geomorphology, geoprocessing, real surface, geomorfologia, geoprocessamento, superfície real

### **1. Introdução**

A geomorfologia da superfície terrestre é um produto da ação de processos endógenos e exógenos que interagem entre si, mesmo em diferentes escalas de tempo ou de ordem de magnitude. O resultado desse processo se expressa tridimensionalmente na paisagem através das diferenças altimétricas numa certa distância e na configuração geométrica das encostas. Segundo Coelho Netto (1995), esses elementos são de fundamental importância na análise da dinâmica hidrológica e erosiva de uma paisagem, e o seu melhor entendimento, em visão tridimensional, se faz a partir de uma leitura integrada, dentro de cada nível hierárquico de bacia de drenagem, que é a unidade geomorfológica básica para esse tipo de análise. Um exemplo desse tipo de análise é a definição de domínios geo-hidroecológicos realizada por Fernandes et al. (2006), onde a interpretação dos domínios propostos foi definida sob a abordagem geomorfológica, caracterizando assim uma leitura geo-hidroecológica da paisagem em questão.

A operacionalização de análises geomorfológicas sempre foi uma tarefa complexa envolvendo uma série de técnicas diferentes. Buscando facilitar e melhorar esta operacionalização uma série de autores, como Hutchinson (1989), Guimarães (2000), Coelho Netto et al. (2007), vem utilizando técnicas de geoprocessamento na construção de análises geomorfológicas.

Todavia, uma série de questionamentos sobre o uso do geoprocessamento deve ser bem avaliada para evitar problemas nos resultados alcançados. Esses questionamentos são

basicamente reflexos da construção de representações computacionais da realidade, ou seja, modelos conceituais que buscam retratar a paisagem a ser estudada. Um destes é a não consideração da dimensionalidade dos dados e informações a serem trabalhados, os quais são avaliados a partir de observações em superfície planimétrica (projetada) e não em superfície real, podendo mascarar a interpretação das variáveis geomorfológicas, principalmente em paisagens com relevo acidentado. É importante salientar que o uso de observações em superfície real é uma possibilidade que ganha maior praticidade a partir do emprego do geoprocessamento, onde é possível analisar as estruturas da paisagem de forma tridimensional, contrastando com as observações planimétricas feitas de forma direta a partir de cartas topográficas, fotografias aéreas e outros insumos para análises geomorfológicas.

Mesmo possuindo uma série de alternativas para trabalhar com a dimensionalidade dos elementos de uma paisagem, como a utilização de modelos digitais de elevação (MDE), o geoprocessamento possui uma limitação estabelecida pela não consideração da irregularidade do espaço a ser analisado (Fernandes e Menezes, 2005). Neste sentido, mesmo quando se trabalha com dados 3D, a superfície não é levada em conta como um contínuo dotado de relevo, sendo assim, mensurações de área e distância dos elementos que compõem a paisagem podem ser sub-estimados.

Partindo desse princípio, destaca-se a importância das observações de superfície real em avaliações geomorfológicas, para a busca do entendimento funcional das diferentes estruturas morfológicas da superfície terrestre. Neste sentido, as observações em superfície real, que prima por uma leitura mais aprimorada da estrutura baseada na morfologia da superfície da paisagem, podem revelar diferentes funcionalidades das unidades de análise assumidas em relação às observações planimétricas.

Buscando comparar a utilização de observações em superfície real e planimétrica para leituras geomorfológicas, foi desenvolvida uma análise do índice de eficiência de drenagem (IED). Esse índice, apresentado por Coelho Netto et al. (2007), define um valor proporcional à capacidade do relevo em drenar a água de superfície de uma bacia e por envolver parâmetros morfométricos de área e comprimento de drenagem possui respostas diferentes quando assumidos os diferentes tipos de observações. A área utilizada para o estudo é o maciço da Tijuca. Situado na cidade do Rio de Janeiro (RJ), esta feição geomorfológica possui um relevo bastante acidentado, onde a análise de observações em superfície real é bastante pertinente.

## **2. Materiais e Métodos**

O desenvolvimento do trabalho é dividido em três etapas: Elaboração dos elementos para as análises geoemorfológicas; aplicação da rotina de obtenção de observações em superfície real; e avaliação final.

Elaboração dos elementos para as análises geoemorfológicas - Esta etapa corresponde à confecção de todos os mapeamentos utilizados (base cartográfica, mapas dos elementos estruturais e funcionais, e mapas das resultantes analítica-integrativas) e do MDE utilizado para a obtenção das observações em superfície real.

A base cartográfica utilizada foi a do Instituto Pereira Passos/RJ na escala de 1:10.000. A partir desta base todos os mapas dos elementos estruturais e funcionais (gradiente topográfico e densidade de drenagem), resultante analítica-integrativa (índice de eficiência de drenagem) e o MDE foram construídos. É importante ressaltar, que a área do maciço da Tijuca foi definida pela cota de 40m da base cartográfica utilizada.

Para a confecção dos mapas dos elementos estruturais e funcionais inicialmente foi realizada, em cima da base topográfica já com a drenagem reconstituída, a separação das bacias de segunda ordem segundo a classificação proposta por Strahler (1952). O gradiente topográfico foi definido para cada bacia através da relação da compartimentação topográfica,

seguindo o método sugerido por Meis et al. (1982), e a mensuração da extensão do eixo maior da bacia ( $Gt = \text{Desnívelamento} / \text{Extensão do eixo maior}$ ) ( $Gt$  em metros). A densidade de drenagem foi obtida através da relação apresentada por Christofolletti (1974) ( $Dd = \text{Comprimento total da drenagem} / \text{Área da bacia de 2ª ordem}$ ) ( $Dd$  em  $m/m^2$ ). O mapa de resultante analítica-integrativa é definido por ser o valor adimensional resultante do produto dos elementos estruturais e funcionais de gradiente da bacia ( $Gt$ ) pela densidade de drenagem ( $Dd$ ) ( $IED = Gt \times Dd$ ) ( $IED$  adimensional).

O MDE foi gerado a partir da extensão 3D Analyst do *software* ArcGis 9.2 baseado em rede irregular de triângulos através do método de Delaunay com restrições. A utilização deste método se justifica pelos resultados obtidos por Fernandes e Menezes (2005) na comparação de diferentes métodos de geração de MDE para obtenção de observações em superfície real no maciço da Tijuca. O modelo teve como dados de entrada as informações topográficas (curvas de nível mestras e auxiliares, pontos cotados e altitude de pontos trigonométricos) constantes das bases topográficas geradas. Outros dados de entrada de fundamental importância na busca de um maior refinamento, as linhas de máximo (divisores) e linhas de mínimo (hidrografia), também foram utilizadas na geração do modelo.

Aplicação da rotina de obtenção de observações em superfície real – Esta rotina é descrita por Fernandes (2004) e foi empregada na confecção do mapa de densidade de drenagem e no mapa índice de eficiência de drenagem, com o intuito de comparar os valores obtidos quando da utilização de observações em superfície real e em superfície projetada (planimétrica) de cada variável para a construção destes mapeamentos.

Avaliação final - Essa etapa corresponde a avaliação de todas as comparações de quantificação das observações em superfície real e projetada dos mapas gerados. Essa avaliação foi de extrema importância para avaliar até que ponto a não consideração da superfície real em análises geomorfológicas em área de relevo acidentado pode mascarar os resultados obtidos.

### 3. Resultados e Discussões

Para se chegar a resultante analítica-integrativa IED inicialmente foram definidos os elementos estruturais e funcionais de gradiente topográfico ( $Gt$ ) e de densidade de drenagem ( $Dd$ ) para as 203 bacias de 2ª ordem delimitadas no maciço da Tijuca.

O gradiente topográfico é obtido a partir do valor de desnívelamento e o de comprimento da bacia, que não possuem observações em superfície real, pois são obtidos, respectivamente, pela diferença do ponto de maior altitude da bacia pela altitude da sua saída (*outlet*) e da distância planimétrica entre esses dois pontos. Entretanto, é importante relatar o uso do MDE e da extensão 3D Analyst do *software* ArcGis 9.2 para obter o valor da altitude do ponto mais elevado da bacia e do *outlet*. Esse procedimento garante a obtenção de valores de altitude mais preciso, pois retira a informação diretamente do MDE, o que não ocorre quando essa observação é feita manualmente sobre a base topográfica, onde são disponíveis apenas informações de altitude através dos pontos cotados e das curvas de nível, que na maioria das vezes não contemplam esses pontos para a obtenção do desnívelamento, forçando a sua obtenção por extrapolações não tão precisas quanto às obtidas pelo MDE.

A densidade de drenagem ( $Dd$ ) representa a relação das zonas de fluxos permanentes com a área total da bacia. As duas variáveis, que dão origem à densidade de drenagem ( $Dd$ ), podem ser especializadas tridimensionalmente e por isso possuem observações em superfície real, ou seja, tanto o comprimento da drenagem, quanto à área da bacia possuem valores em superfície real quanto em superfície planimétrica. A partir desses valores podem ser geradas duas leituras de densidade de drenagem para cada bacia, e conseqüentemente, dois mapeamentos desse elemento estrutural e funcional, assim como, também podem ser gerados duas leituras

de IED e dois mapeamentos distintos dessa resultante analítica-integrativa, pois esse índice é diretamente relacionado à densidade de drenagem.

Os resultados da análise do comprimento da drenagem, área das bacias e densidade de drenagem em superfície real e planimétrica são apresentados na figura 1, onde também pode ser visualizado, esquematicamente, o comportamento desses elementos em uma bacia da área de estudo. A influência dessas observações de comprimento da drenagem e área das bacias são tão decisivas na definição da densidade de drenagem que mesmo assumindo uma divisão padrão com número pequeno de classes, para os dois tipos de observações, foram registradas uma mudança de classe para 15,7% das bacias analisadas (Figura 2).

Esse comportamento da densidade de drenagem é decisivo na definição do índice de eficiência de drenagem (IED) e contribuíram para revelar diferentes índices em superfície real e planimétrica.

A resultante analítica-integrativa de índice de eficiência de drenagem (IED) apresentou dois resultados diferenciados, um baseado na leitura em superfície real e outro em superfície planimétrica. A comparação da média desse índice para as bacias de 2ª ordem revelou uma diminuição de 0,0019 do IED em superfície planimétrica para 0,0018 do IED em superfície real, o que representa uma queda média do valor de IED de 0,0002 ou 7,92% do IED em superfície planimétrica para o IED em superfície real.

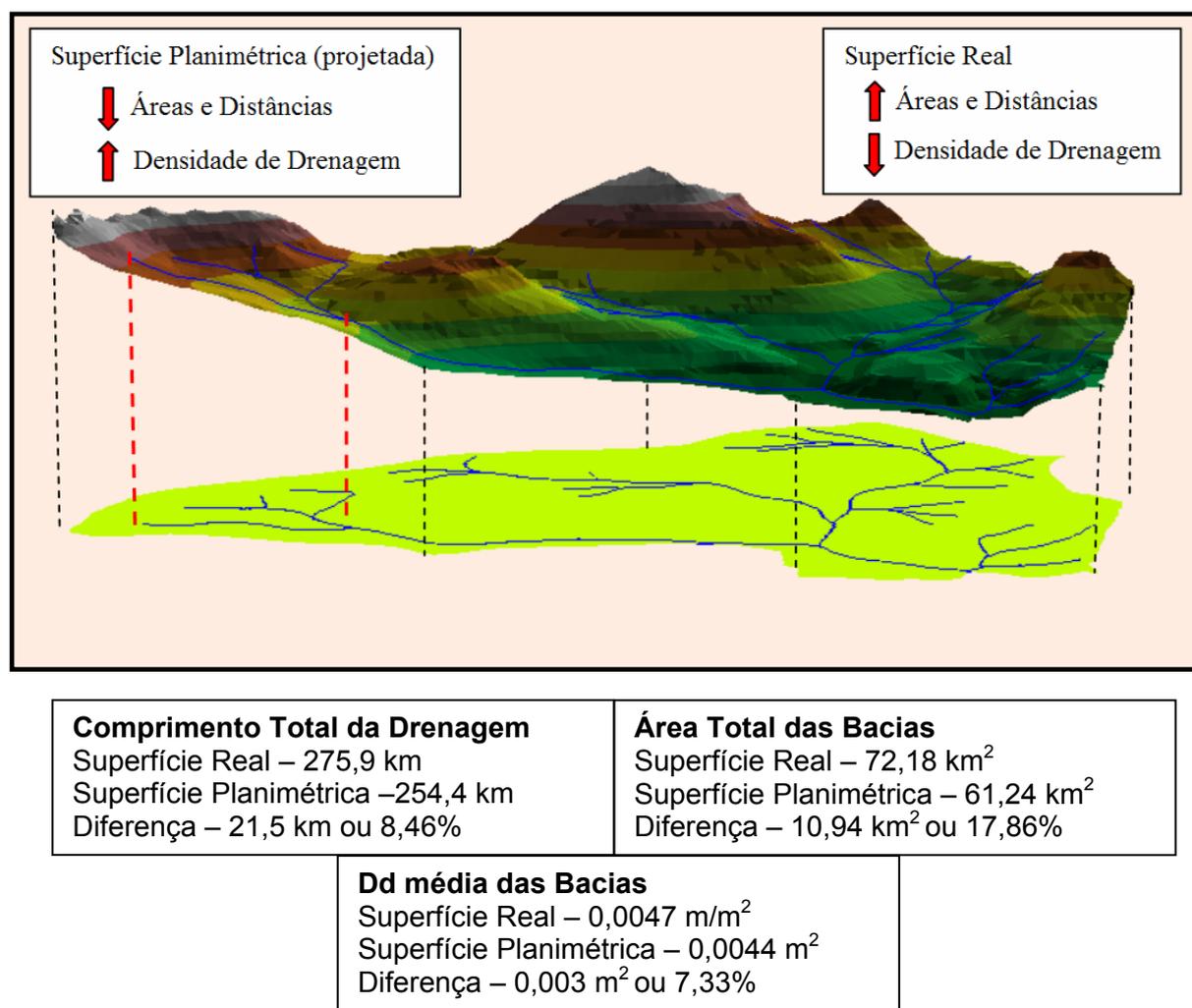


Figura 1. Diferenças de comprimento de drenagem, área das bacias e densidade de drenagem média em superfície real e planimétrica

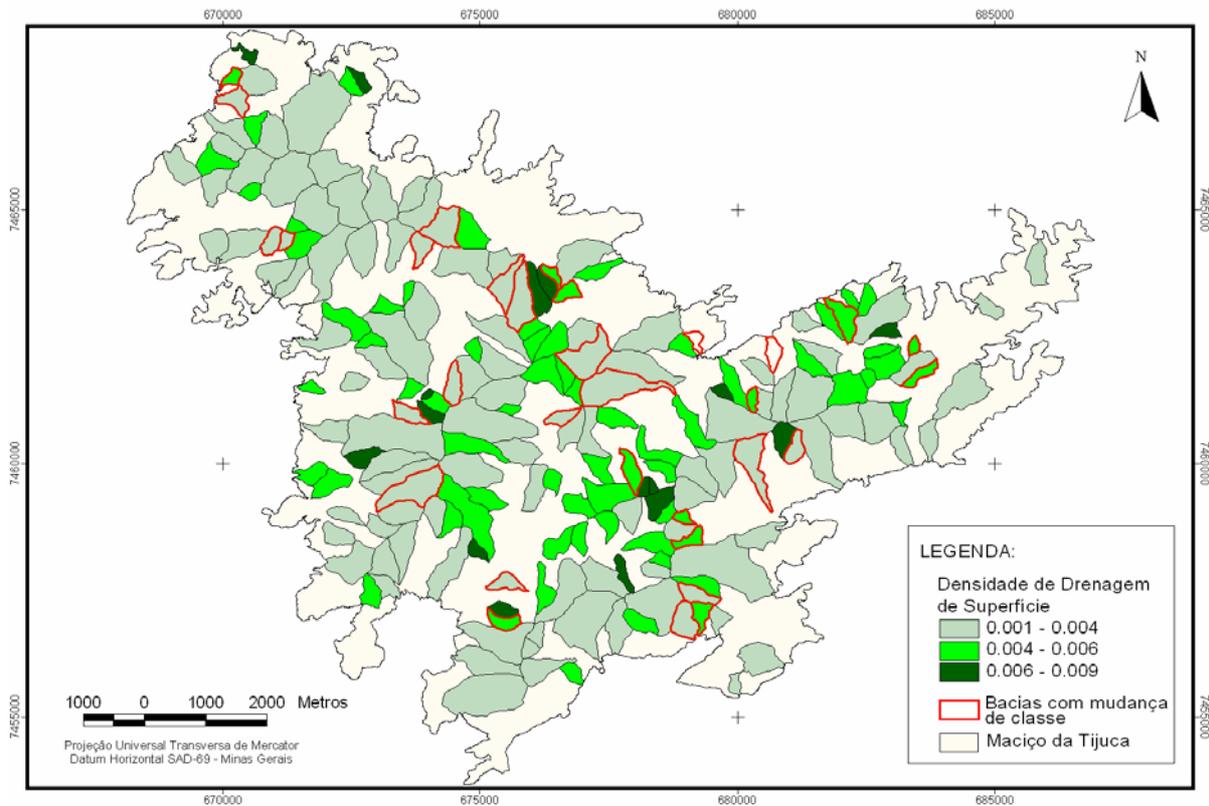


Figura 2. Mapa de densidade de drenagem em superfície real por bacia de 2ª ordem do maciço da Tijuca

Esse quadro é semelhante ao apresentado na análise da densidade de drenagem, visto que a variação IED em superfície real e planimétrica é resultado direto da variação dessas leituras na densidade de drenagem, pois esse elemento estrutural e funcional é o único que possui variações na análise em curso. Assim, como na densidade de drenagem, o IED também apresentou diminuição em quase a totalidade das bacias de 2ª ordem quando da leitura em superfície real, se concentrando na faixa de 4 a 10%. A variação percentual de diferença das duas leituras para o IED foi de - 4 a 27,27% (Figura 3).

Nesse índice o número de bacias onde a variação foi nula, foi maior que a análise da densidade de drenagem, com 29 bacias (Figura 4). Houve ainda uma bacia que apresentou um comportamento inverso, ou seja, um maior valor de IED planimétrico para o real (4%). Essa bacia apresentou o mesmo comportamento em relação à densidade de drenagem, que é justificado pela maior variação do comprimento da drenagem em relação à área na comparação de observações em superfície real e planimétrica.

Os Resultados apontam que o índice de eficiência de drenagem para bacias de 2ª ordem obtidos através da leitura da estrutura de elementos da paisagem em superfície real pode gerar valores diferenciais de funcionalidade. Em outras palavras, a funcionalidade de capacidade de escoamento de água superficial apontada pelo índice de eficiência de drenagem é reflexo da leitura do gradiente e da densidade de drenagem.

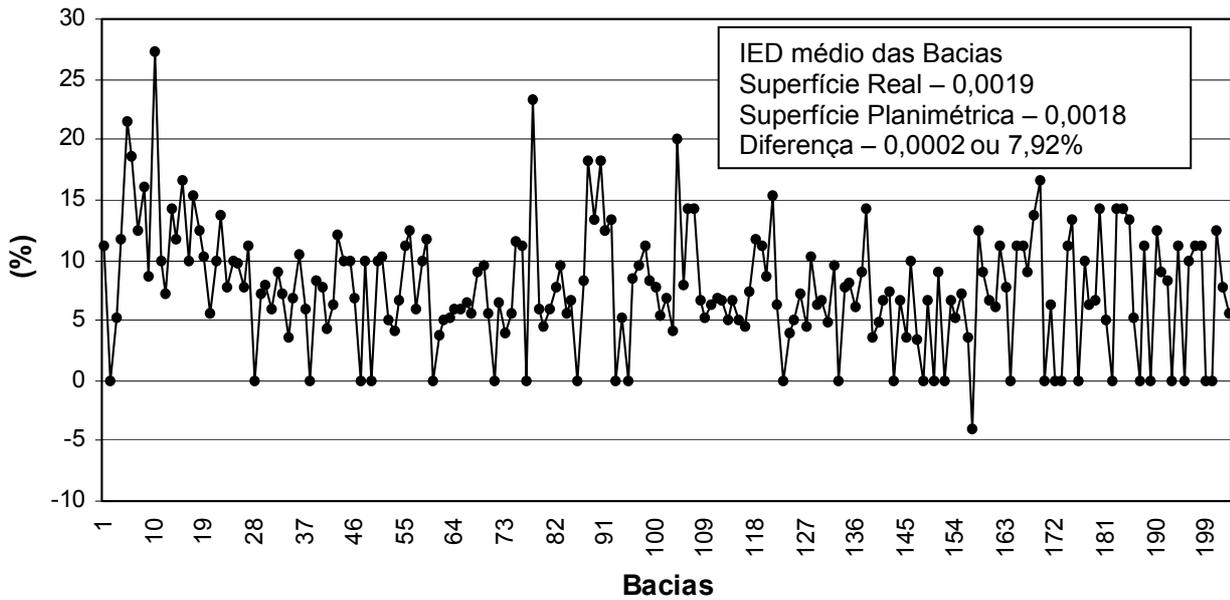


Figura 3. Gráfico da diferença percentual do índice de eficiência de drenagem em superfície real e planimétrica por bacia de 2ª ordem

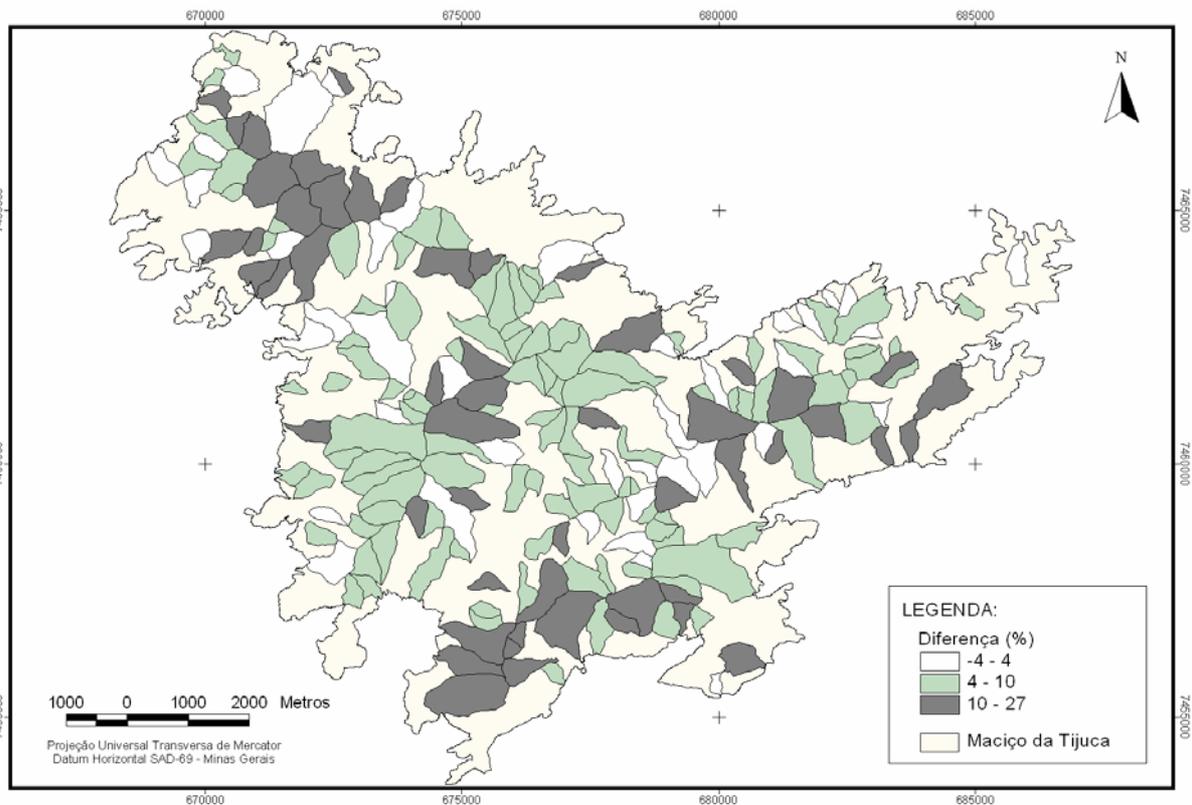


Figura 4. Mapa de diferença percentual dos valores índice de eficiência de drenagem superfície real e planimétrica por bacia de 2ª ordem do maciço da Tijuca

#### 4. Conclusões

Na avaliação realizada foi constatado um diferencial significativo na utilização de observações em superfície real. Este tipo de observação mostrou, na maioria dos casos, valores maiores em relação às observações em superfície planimétrica, caracterizando assim, interpretações mais próximas de leituras geomorfológicas da paisagem. Assim, levando em consideração as irregularidades expressas pela morfologia da superfície terrestre, as observações de uma paisagem deixam de ser subestimadas e podem mostrar uma realidade diferente em relação às mensurações mais usuais, em superfície planimétrica. Entretanto, é importante ressaltar que a utilização de observações em superfície real é bastante pertinente em áreas de relevo acidentado, o que não ocorre em áreas de relevo com pouca movimentação (planos).

Toda a análise elaborada sobre o índice geomorfológico de eficiência de drenagem demonstrou uma nova leitura em relação à estrutura e funcionalidade, que pode ser obtido na análise de uma bacia. Sem dúvida, as observações em superfície real podem ser utilizadas em outros índices ou em novas interpretações geomorfológicas, apurando cada vez mais o entendimento da dinâmica hidrológicas e erosivas da análise geo-hidroecológica de uma paisagem.

Cabe ressaltar ainda, que a utilização de observações em superfície real não é exclusiva para análises geomorfológicas, devendo também ser aplicada em outras áreas do conhecimento. Assim busca-se dar subsídios para melhorar a representação generalizada dos modelos conceituais em geoprocessamento, reflexo da capacidade limitada e discreta dessa representação em sistemas computacionais.

É importante salientar que a metodologia para obtenção de observações em superfície real ainda deve ser submetida a mais investigações científicas, buscando melhorar ainda mais as observações propostas. Uma destas é a discussão do tipo de modelo digital de elevação a ser utilizado, que deve ser avaliado de acordo com a área, dados disponíveis e escala de análise assumida.

Vale ressaltar que, as observações em superfície reais são uma possibilidade que só se revela a partir do uso do geoprocessamento em análises geomorfológicas, entretanto, ainda não é bastante explorada. Assim busca-se uma nova leitura das variáveis geomorfológicas que podem representar um avanço significativo no avanço desta ciência.

#### Agradecimentos

CNPq – Projeto Universal

#### Referências Bibliográficas

Christofletti, A. **Geomorfologia**. Editora Edgard Blücher (USP), São Paulo, 1974. 1º ed., 149p.

Coelho Netto, A.L. Hidrologia de Encostas na Interface com a Geomorfologia. In: Guerra, A.J.T. e Cunha, S.B. (org) **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1995. 2º ed.: 93 - 148.

Coelho Netto, A.L.; Avelar, A.S.; Fernandes, M.C.; Lacerda, W.A. Landslide Susceptibility in a Mountainous Geocosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The Role of Morphometric Subdivision of the Terrain. **Geomorphology**. Amsterdam, 87(3): 120-131, 2007.

Fernandes, M. C. **Desenvolvimento de Rotina de Obtenção de Observações em Superfície Real: Uma Aplicação em Análises Geoecológicas**. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 263 p. 2004.

Fernandes, M.C.; Avelar, A.S.; Coelho Netto, A.L. Domínios Geo-hidroecológicos do Maciço da Tijuca/RJ. **Anuário do Instituto de Geociências**. Rio de Janeiro, 29(2): 122-148, 2006.

Fernandes, M.C.; Menezes, P.M.L. Avaliação de métodos de geração de MDE para a obtenção de observações em superfície real: um estudo de caso no maciço da Tijuca - RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, 57(02): 154-161, 2005.

Guimarães, R.F. **Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos com controle topográfico: adequação e calibração em duas bacias de drenagem**. Tese de Doutorado, Depto. de Geologia, IGEO/UFRJ, 156 p. 2000.

Hutchinson, M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**. 106: 211-232, 1989.

Meis, M.R.M; Miranda, L.G.H.; Fernandes, N.F. Desnivelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do Médio Vale do rio Paraíba do Sul. **Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia**. Salvador 4: 1489-1509, 1982.

Strahler, A.N. Equilibrium theory of erosional slopes approaches by frequency distribution analysis. **Amer. J. Sci.** 248: 673 – 696, 1952.