

ZONEAMENTO EM UNIDADES MORFOLÓGICAS DA BACIA DO RIO OUDON, NOROESTE DA FRANÇA, A PARTIR DE MDT EM AMBIENTE DE SIG

Luis Eduardo de Souza ROBAINA¹

Romario TRENTIN²

François LAURENT³

Resumo

O presente trabalho busca, através da análise integrada de atributos do relevo, definir unidades com características homogêneas, para a bacia do rio Oudon, localizado a noroeste da França, nos departamentos de Mayenne e Maine-et-Loire, delimitado pelas coordenadas geográficas 47°33'31.54" à 48° 4'41.51" de latitude N e 0°41' 35.69" à 1°20' 8.54" de longitude W. Como base cartográfica utilizou-se um Modelo Digital de Terreno da região Noroeste da França do Institut Géographique National, com uma resolução espacial de 50m. Através do recorte espacial do *raster* de elevação obteve-se as características de elevação, altitude máxima, mínima, média e amplitude. Por meio de ferramenta do *ArcGIS* foram determinadas informações sobre drenagem, declividades e unidades geomorfométricas, discriminadas por uma árvore de decisão. A classificação e o mapeamento morfológico apresenta a identificação das unidades com características homogêneas quanto as informações de relevo. Este processo consistiu na interpretação e análise visual, com auxílio da sobreposição dos *layers* em SIG. A análise permitiu definir sete unidades homogêneas de relevo na bacia do rio Oudon: Unidade Áreas Planas do alto curso, Unidade dos Vales de Dissecção, Unidade de Colinas suavemente onduladas do alto curso, Unidade de colinas com elevações isoladas, Unidade de Platôs Festonados, Unidade dos Vales entre Platôs, Unidade de áreas planas junto a foz. A classificação e cartografia morfológica apresentada possui potencial para ser utilizado em trabalhos de levantamento e planejamento considerando que as formas do relevo exercem papel decisivo no tempo de exposição dos materiais, na intensidade e direção do fluxo da água.

Palavras-chaves: Bacia do rio Oudon. Relevo. Morfológica.

¹ Laboratório de Geologia Ambiental – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: lesrobaina@yahoo.com.br]

² Laboratório de Geologia Ambiental – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: romario.trentin@gmail.com

³ Université du Maine. E-mail: francois.laurent@univ-lemans.fr

Abstract

Zoning in morphological units in river Oudon basin, northwest of France, through MDT at environment of the GIS

This paper analyzes relief attributes defining units with homogeneous characteristics, for river Oudon basin, located northwest of France, in the department of Mayenne and Maine-et-Loire, delimited by the geographic coordinates 47°33'31.54" à 48° 4'41.51" de latitude N e 0°41' 35.69" à 1°20' 8.54" de longitude W. How base map used a Digital Terrain Model in the northwest of France of the Institut National Géographique, with a spatial resolution of 50m. Through spatial area the raster of the high there was obtained the characteristics elevation, maximum, minimum, average height and amplitude. By the tool of ArcGIS were certain about drainage, slope and geomorphometric units, separate down by a decision tree. The morphological classification and mapping to identify the units with similar characteristics as the features relief. This process involved the interpretation and visual analysis, using the superposition of layers in GIS. This analysis allowed us to define seven homogenous relief units in the Oudon basin: Unit of the Plane Areas of high course, Unity of the Valley of Dissection, Unit of the gently hills of the upper course, Unit hills with elevations isolated, Unit Plateaus scalloped, Unit Valleys between Plateaus, Unit flat areas along the mouth. The morphological classification and mapping has shown potential to be used in survey work and planning considering that the forms of relief exercising decisive role in the exposure time of materials, the intensity and direction of water flow.

Key words: River Oudon basin. Relief. Morphological.

INTRODUÇÃO

O estudo das formas de relevo se apresenta como objeto fundamental da Geomorfologia, tanto nos aspectos de gênese como de evolução destas formas. Isso porque, o relevo está em constante processo de evolução, com velocidades variadas, interagindo, a todo instante, com os demais componentes da paisagem.

A partir disso, as formas que o relevo apresenta são ao mesmo tempo consequências da atuação dessas forças, bem como suas causas, pois através de variações topográficas e morfológicas abre-se espaço para a interferência da ação da gravidade, que possibilita, por exemplo, o deslocamento de matéria e energia líquida ou sólida das partes mais altas para as mais baixas, em um processo contínuo de desgaste dos terrenos elevados e de acumulação nos segmentos mais baixos (ROSS, 1990).

Conforme Ab'Saber (1969), a compartimentação topográfica apresenta uma dimensão muito maior que a própria denominação, uma vez que transcende a ideia de topografia, no que tange aos aspectos morfológicos e morfométricos do relevo, resultantes das propriedades adquiridas durante sua gênese e evolução.

Assim, o estudo do relevo realizado pela geomorfologia é entendido, conforme Cassetti (1991), como a busca na explicação das transformações do geo-relevo, portanto, refere-se não apenas a morfologia (forma), mas também a fisiologia (função), incorporando o movimento histórico das sociedades e vinculando com a ciência geográfica.

Um dos primeiros estudos a considerar a influência do relevo na hidrologia das encostas foi realizado por Troeh (1965), que analisou a declividade e curvatura da vertente para classificar as encostas coletoras de água, com plano de curvatura con-

vergente e as distribuidoras de água, com plano de curvatura divergente. Sob o aspecto do perfil de curvatura, as vertentes convexas são as que facilitam o desenvolvimento do rastejamento e as côncavas as que favorecem a lavagem pela água das chuvas.

Hugget (1975) estabeleceu a combinação de formas de vertentes relacionando a curvatura vista em perfil e em plano, propondo nove padrões ideais para indicações das direções dos fluxos da água sobre as encostas (Figura 1).

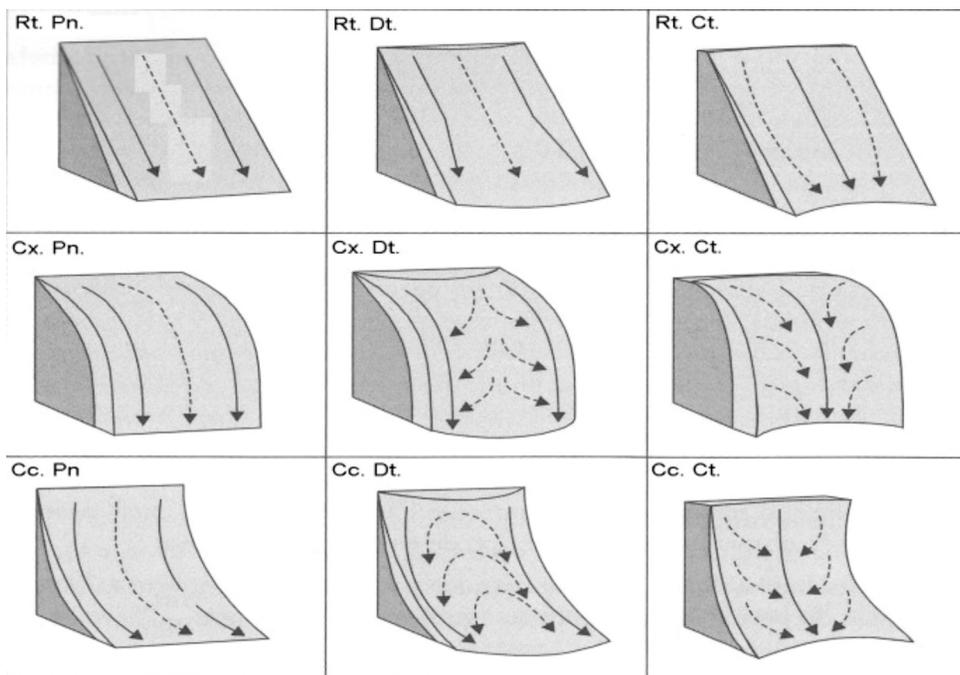


Figura 1 – Classificação das vertentes com indicação do fluxo superficial da água na encosta. (HUGGET, 1975)

Com o desenvolvimento de métodos de geoprocessamento e SIGs é possível a representação da superfície terrestre na forma de modelos digitais numéricos, também, denominados de Modelos Digitais do Terreno (MDT), os quais possibilitam a análise topográfica de uma zona de interesse, assim como o cálculo automatizado de uma série de variáveis relacionadas (VIDAL-TORRADO *et al.*, 2005).

Além disso, considera-se que atributos topográficos derivados de MDE, fornecendo um método para geração de mapas de melhor resolução. As aplicações desses atributos são apresentadas por vários autores como: Klingebiel *et al.* (1987), Dikau (1989), Moore *et al.* (1991), Irvin *et al.* (1997), Hermuche *et al.* (2003), Sirtoli *et al.* (2008), Silveira (2010), Arenas-Rios (2012).

O presente trabalho busca, através da análise integrada de atributos do relevo, como elevação, declividade das encostas, perfil e plano de curvatura, definir unidades do relevo com características homogêneas, contribuindo com informações que permitam compreender a dinâmica superficial atuante na região do rio Oudon.

O rio Oudon é um rio do noroeste da França, afluente do rio Mayenne, que corre nos departamentos de Mayenne e Maine-et-Loire, na proximidade das cidades de Segré e Lion d'Angers, localizado pelas coordenadas geográficas $47^{\circ}33'31.54''$ à $48^{\circ}4'41.51''$ de latitude Norte e $0^{\circ}41'35.69''$ à $1^{\circ}20'8.54''$ de longitude Oeste. (Figura 2).

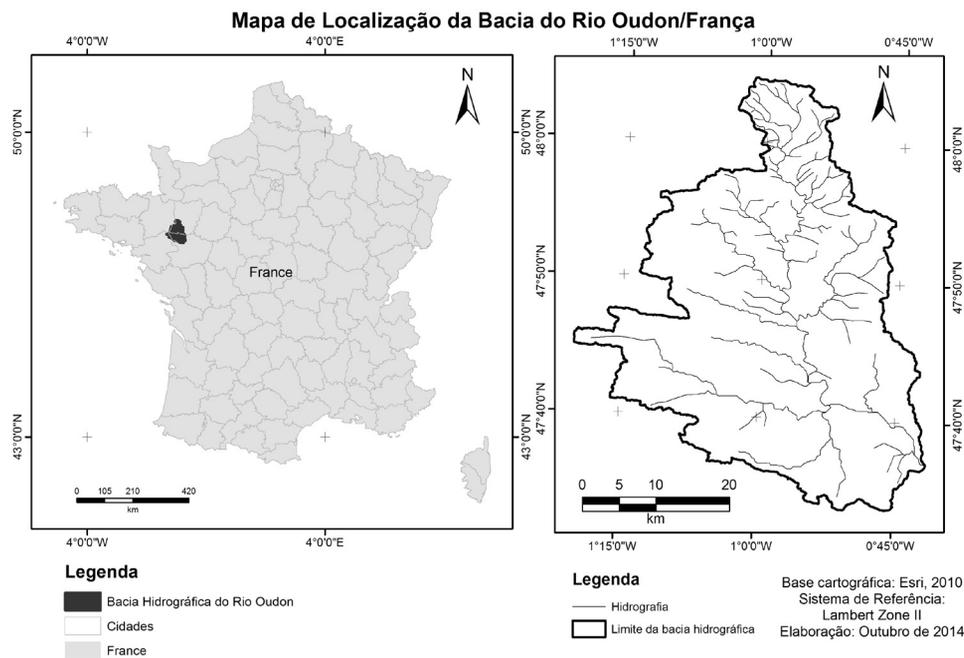


Figura 2 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Oudon/França

METODOLOGIA

Os trabalhos de zoneamento das unidades morfológicas do relevo da bacia hidrográfica do rio Oudon iniciaram com a espacialização do limite da referida bacia em relação ao espaço físico da França. Como base cartográfica utilizou-se um Modelo Digital de Terreno da região Noroeste da França (o MDT do Institut Géographique National, com uma resolução espacial de 50m).

A delimitação da bacia hidrográfica, bem como, as identificações dos cursos de água foram obtidas pelo processamento no ArcGIS, onde aplicou-se a rotina de extração dos cursos de água a delimitação da bacia, com as ferramentas de *Hydrology* do *Spatial Analyst*. A fim de se obter uma melhor identificação dos cursos de água, os mesmos foram completados visualmente utilizando-se apoio de imagens de satélite extraídas do Google Earth. Após estes procedimentos, os cursos d'água foram classificados hierarquicamente conforme classificação de Strahler (1952), e aplicou-se parâmetros de análise espacial a fim de obter-se às características estatísticas dos mesmos.

Através do recorte espacial do *raster* de elevação, utilizado como base, obteve-se o MDT para a bacia hidrográfica do rio Oudon, onde foram identificadas as

características de elevação, altitude máxima, mínima, média e amplitude. O mapa de declividade foi definido através da ferramenta do ArcGIS denominada *Slope*, que possibilitou a distribuição das declividades em porcentagens. Após, as declividades foram agrupadas em quatro classes: <2%, 2 a 5%, 5 a 15%, >15%, conforme os limites propostos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1981) de, 2% (áreas planas), 5% (início dos processos erosivos) e, 15% (limite máximo para o emprego de mecanização agrícola).

O mapa geomorfométrico baseou-se no cruzamento apresentado na figura 3. Para a definição das unidades geomorfométricas é utilizado o MDT discriminado em 2 classes, sendo a média da altitude o limite das classes; o mapa de declividade, discriminado em duas classes, sendo 5% o limite das classes; o mapa do plano de curvatura discriminado em duas classes, sendo elas plano convergentes (valores negativos do *raster*) e plano divergente (valores positivos do *raster*) e; o mapa de perfil de curvatura discriminado em duas classes, sendo elas: perfil convexo (valores negativos do *raster*) e perfil côncavo (valores positivos do *raster*). Para a geração do perfil e plano de curvatura, no ArcGIS, utiliza-se a ferramenta *curvature*.

Por fim, a classificação e o mapeamento morfológico apresenta a identificação das unidades com características homogêneas quanto as informações de relevo da área de estudo. Este processo consistiu na interpretação e análise visual, com auxílio da sobreposição dos *layers* em SIG.

A fim de melhor caracterização dos mapas e unidades definidas no trabalho, optou-se por descrições das unidades levando-se em consideração as áreas e porcentagens ocupadas pelas mesmas na bacia hidrográfica, pois estas demonstram a representatividade de cada uma das unidades e classes discriminadas nos mapas.

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

O rio Oudon, afluente do rio Mayenne, apresenta um comprimento do canal principal de 89 km e área da bacia hidrográfica é 1484 km².

A bacia consiste em um planalto com colinas baixas, recortado por uma rede de cursos d'água. O clima é oceânico, caracterizado por chuvas regulares durante todo o ano e temperaturas moderadas. A média anual de chuvas em Segré é 743 milímetros e a temperatura média é de 13° C (1999-2007, fonte: MétéoFrance).

A área faz parte do Maciço Armoricano que é formado de xistos pré-cambrianos e de arenitos paleozóicos, afetados pela tectônica hercínica. Os solos são argilosos e hidromórficos nos platôs, arenosos e bem drenados em encostas dos vales e argilosos e hidromórficos no fundo dos vales. Aquíferos são escassos nesta área de maciço antigo. A água subterrânea é sub-superficial na alterite ou, em profundidade, localizada nas falhas (LAURENT; RUELLAND, 2011).

A bacia do rio Oudon é de 4ª ordem (Strahler, 1952) com o alto curso sendo definido das nascentes no extremo norte até o canal atingir a 4ª ordem; deste ponto até a confluência, onde o canal principal muda a direção do fluxo, define o médio curso; e o baixo curso foi determinado a partir do ponto de mudança da direção, de N-S para E-W do curso principal, até a foz (Figura 4).

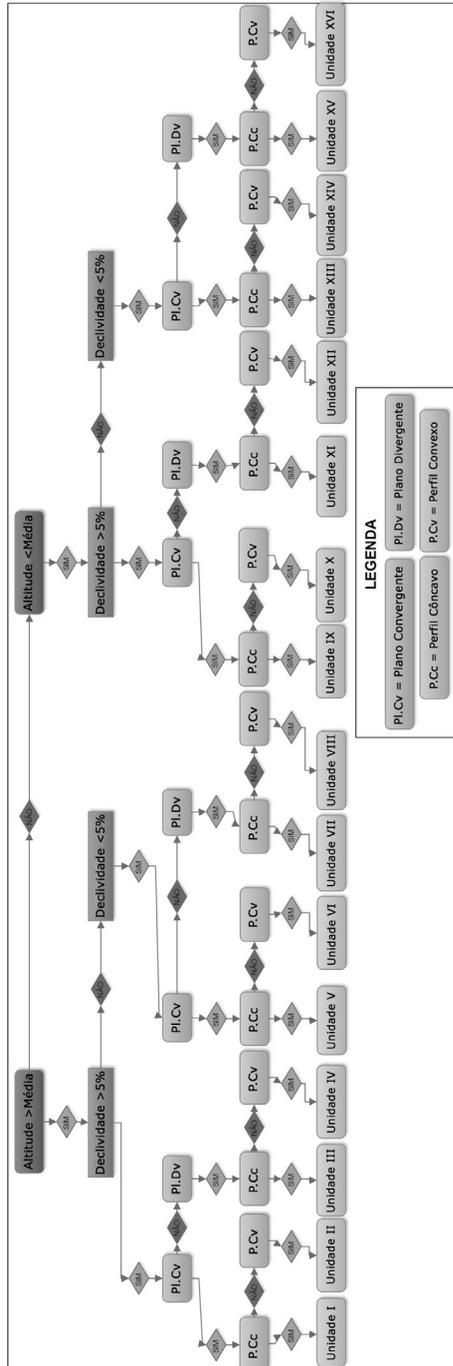


Figura 3 – Fluxograma com os procedimentos para a geração do mapa geomorfológico

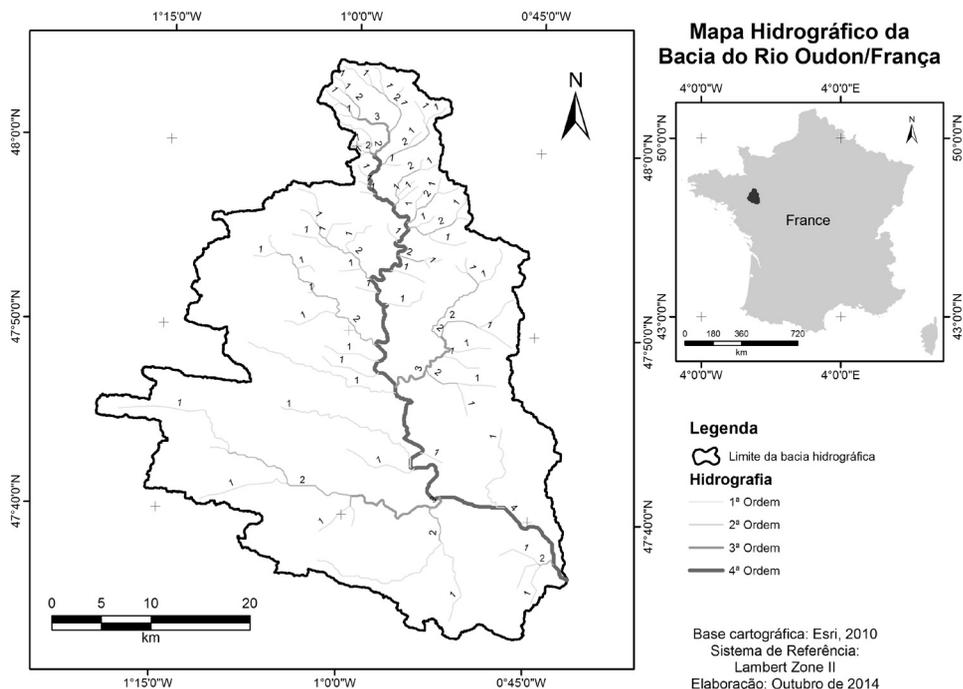


Figura 4 – Mapa hidrográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Oudon/França

A tabela 1 apresenta, de forma detalhada, a distribuição do comprimento da hidrografia conforme a hierarquia estabelecida, bem como o comprimento médio dos cursos de água. Como pode-se perceber estão presentes na bacia hidrografia do Rio Oudon, 74 canais de 1ª ordem, 20 de 2ª ordem, 4 de 3ª e 1 de 4ª ordem, com comprimentos médios de 3873 metros, 5442 metros, 7902 metros e 76501 metros respectivamente.

Tabela 1 – Discriminação das informações hidrográficas

Hierarquia	Comprimento (m)	Nº Canais	Comprimento Médio (m)
1ª Ordem	286647	74	3873
2ª Ordem	108857	20	5442
3ª Ordem	31611	4	7902
4ª Ordem	76501	1	76501

A bacia apresenta uma forma alongada na direção N-S com drenagem apresentando um forte controle estrutural, especialmente na porção centro-sul da bacia, formando um padrão treliça e ao norte retangular-dendrítico (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Os canais de drenagem são assimétricos e se desenvolvem em duas direções preferenciais, N10-20E e N50-60W.

A figura 5 apresenta uma proposta de análise da forma das drenagens (SOARES; FIORI, 1978) que utiliza-se para descrever a rede de drenagem da bacia do rio Oudon.

A densidade de drenagem é de baixa a média na porção norte e variando de média a esparsa na porção sul. Quanto maior é a densidade de drenagem, menor é a capacidade de retenção da água no substrato e menor é o potencial de infiltração e tem-se menor densidade de drenagem sobre rochas mais solúveis, pois se desenvolve escoamento em subsuperfície.

Os canais são, predominantemente, retilíneos associados as zonas de fraqueza estrutural das litologias, que, também, se reflete no ângulo de confluência dos elementos da drenagem que variam de médio a alto.

As altitudes da bacia hidrográfica variam de 191m nas nascentes do extremo norte da bacia até 18m na foz e a maior parte da bacia está abaixo da cota de 90m, (Figura 6).

As declividades, predominantes, estão nos intervalos inferiores a 2% e no intervalo entre 2% e 5%, caracterizando um relevo plano a levemente ondulado, (Tabela 2). Declividades superiores a 5% e até a 15% ocorrem associados aos vales encaixados das drenagens e na borda dos platôs dissecados, (Figura 7).

A tabela 2 apresenta as áreas ocupadas para cada intervalo de declividade que ocorre na bacia. Observa-se que as declividades baixas inferiores a 5% são as predominantes.

A classificação geomorfométrica da bacia foi desenvolvida através do cruzamento de informações de altitudes, declividades e formas da vertente em perfil e no plano, determinando 16 unidades. A figura 8 mostra a distribuição espacial das unidades e a figura 9 mostra a porcentagem ocupada pelas referidas unidades.

As unidades de 1 a 8 formam o que se denominou de terras altas da bacia, onde ocorrem as altitudes maiores que a média, ocupando 43% da área, constituindo as áreas de avanço dos processos de dissecação.

As unidades de 9 a 16 formam as áreas denominadas de terras baixas da bacia, onde as altitudes são menores que a média, ocupando 57% da área.

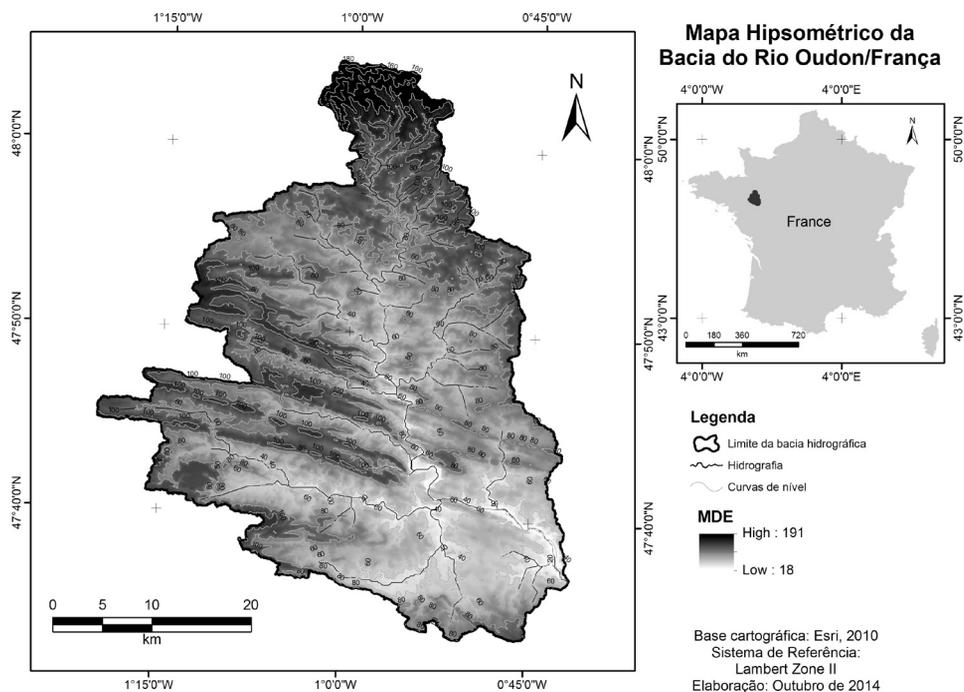
Nas terras altas da bacia as unidades de 1 a 4 representam as encostas com inclinações superiores a 5%. Dessa forma, são áreas onde os processos erosivos são importantes e, portanto, cuidados com o uso do solo devem ser maiores. Entretanto, essas unidades ocupam apenas 7% do total da bacia e 16% das terras altas.

Ocorrem formando pequenas escarpas no contato das terras altas com as terras baixas na porção centro-oeste da bacia ou associado a drenagem encaixada nas porções do alto curso, localizadas no extremo norte.

A ocorrência mais significativa é a unidade 4 que representa encostas divergente-convexas, onde as atividades agrícolas devem ser com técnicas conservacionistas para evitar erosão.

As unidades de 5 a 8 representam as áreas planas a levemente inclinadas localizadas nas maiores altitudes da bacia. Estas unidades compõem ao redor de 36% do total da bacia, mas representam, 84% das terras altas.

As formas com encostas convergentes, onde o fluxo é em direção ao centro da encosta, definidas pelas unidades 5 e 6, são predominantes e compõem mais de 24% do total da bacia. A forma divergente, com fluxo para fora da encosta, são formadas pelas unidades 7 e 8 compõem 12% do total da bacia.



**Figura 6 – Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do
rio Oudon/França**

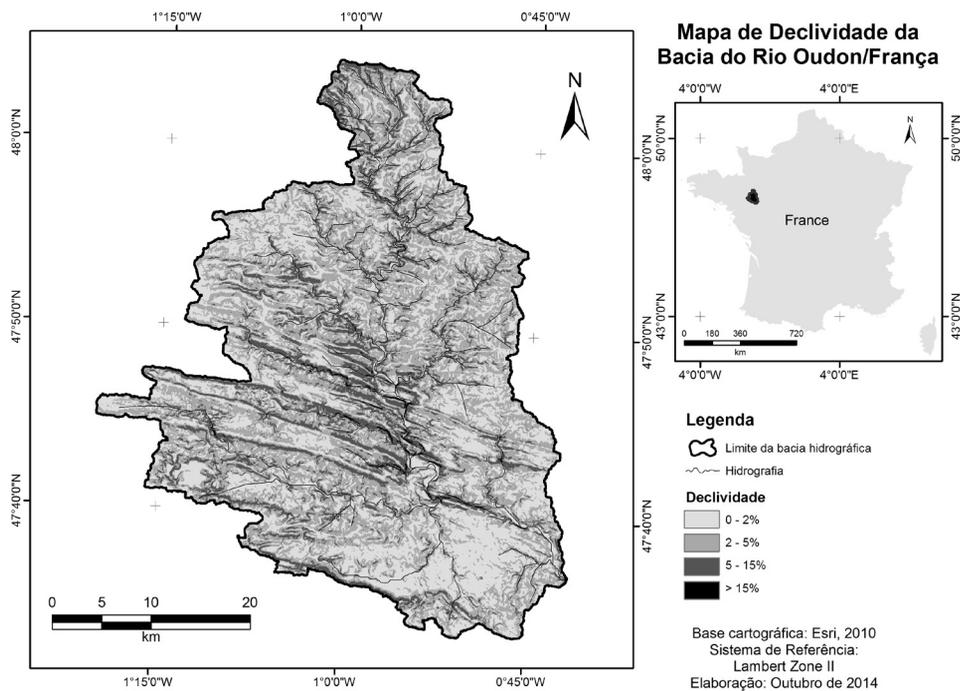


Figura 7 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Oudon/França

Tabela 2 – Área e porcentagem das classes de declividade

Classes	Area_km ²	Porcentagem
0 - 2%	548	36,92
2 - 5%	706	47,55
5 - 15%	224	15,10
> 15%	6	0,44

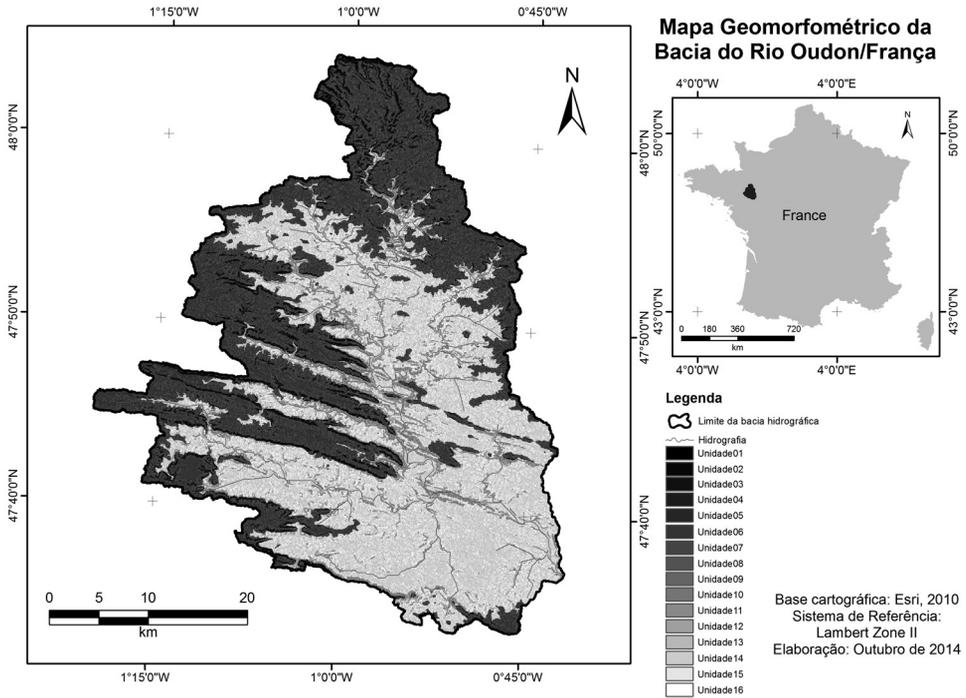


Figura 8 – Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Oudon/França

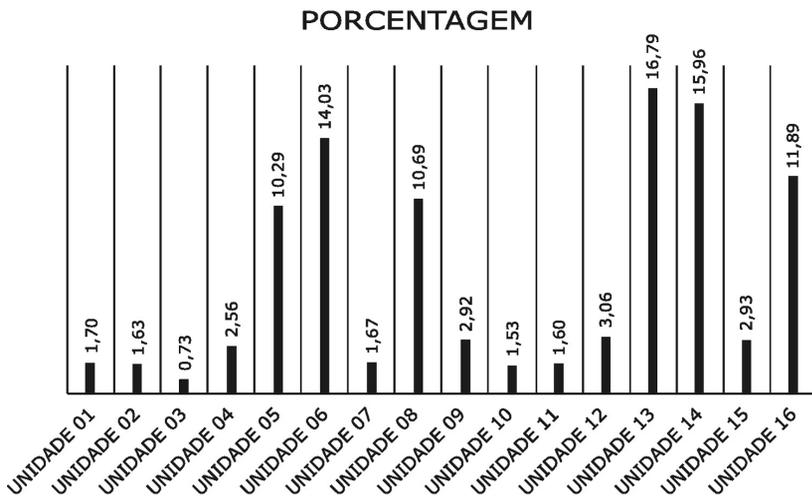


Figura 9 – Porcentagem das unidades geomorfológicas

As unidades entre 9 e 12 compõem as terras baixas da bacia e são caracterizadas por encostas com inclinações superiores a 5%. Compõem 9% do total da bacia e ocorrem associadas as unidades 1 e 4, na base das elevações, em faixas de direções NW que cortam a bacia formando prolongamento desta faixa em porções mais dissecadas. Além disso, ocorrem nas encostas junto a drenagem encaixada. Destas unidades as formas convergentes-côncavas, junto as drenagens, e divergente convexa, um pouco acima são as representativas.

As unidades de 13 a 16 representam as encostas localizadas nas terras baixas, planas a levemente onduladas. Correspondem a 48% do total da bacia hidrográfica e 84% da área das terras baixas.

As formas convergentes são predominantes e estão associadas as áreas de acúmulo de fluxo. Representadas pelas unidades 13 e 14 compõem 33% do total da bacia. A unidade 13 representa a mais comum forma de encosta, convergente-côncavo, com aproximadamente 17% do total da bacia, constituindo as principais áreas de acúmulo de fluxo d'água. As formas convergentes-convexas representadas pela unidade 14, ocorrem associadas as formas da unidade 13, mas predominam na porção mais rebaixada a sudeste da bacia.

As formas divergentes, representadas pelas unidades 15 e 16, são predominantemente divergentes-convexo e ocorrem associadas as formas da unidade 13, convergente-côncava, um pouco mais afastado da drenagem.

ZONEAMENTO MORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO OUDON

As informações e dados obtidos, dos atributos de relevo, com auxílio da sobreposição dos layers em SIG, permitiu estabelecer um zoneamento das principais formas do relevo na bacia do rio Oudon.

A figura 10 apresenta a distribuição espacial das unidades morfológicas definidas para a bacia hidrográfica do Rio Oudon. Na figura 11 observa-se a área ocupada por cada unidade, medida em porcentagem da bacia.

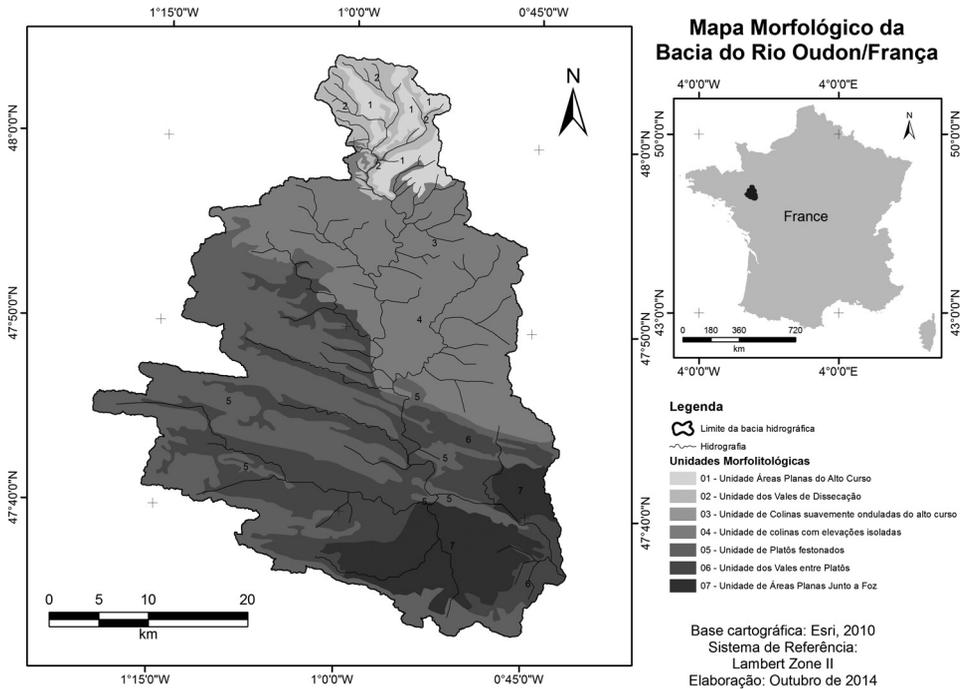


Figura 10 – Mapa morfológico da bacia hidrográfica do rio Oudon/França

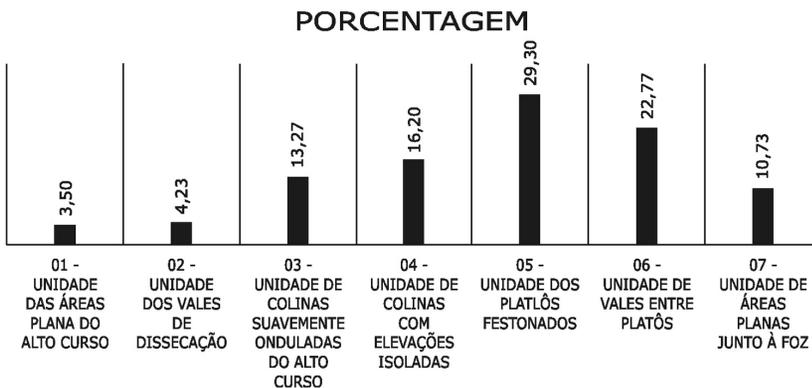


Figura 11 – Distribuição percentual das Unidades Morfolíticas

Unidade Áreas Planas do alto curso

A unidade de áreas planas de altitude ocupa 3,50% da bacia. Ocorrem acima de 110m de altitude e representam áreas com baixas declividades. Formam um rele-

vo de encostas planas a convergentes, representado pelas unidades geomorfométricas 5 a 8. Os solos são, predominantemente, com argila 2:1 e nas porções convergentes das encostas podem ocorrer acúmulo d'água e hidromorfismo.

Unidade dos Vales de Dissecação

Nas áreas de maior altitude da bacia, associada a rede de drenagem, ocorrem encostas com inclinações superiores a 5%. Compõem 4,23% do total da bacia e são caracterizadas por uma rede de drenagem com forte controle estrutural, representado por um padrão, predominantemente, retangular. Constituem as unidades geomorfométricas de 1 a 4 onde os processos erosivos são significativos.

Unidade de Colinas suavemente onduladas do alto curso

Esta unidade representa 13,27% da bacia ocorrendo na porção de alto curso do rio Oudon, ocorrendo, aproximadamente, entre as curvas de 70m a 90m. As declividades são inferiores a 5% e as amplitudes das encostas ao redor de 20m. Esta unidade caracteriza-se por áreas levemente onduladas que favorecem a atividade agrícola, e estão representadas pelas unidades geomorfométricas de 05 a 08 onde as encostas apresentam perfis convexo no topo e passam a côncavos junto a drenagem. Nesta porção o aumento das inclinações pode favorecer a erosão e, desta forma, o uso deve ser restringido.

Unidade de colinas com elevações isoladas

As áreas, desta unidade, compõem 16,20% da bacia, ocorrem nas altitudes abaixo de 70m, onde predominam as unidades geomorfométricas de 13 a 16. As formas de colinas suavemente onduladas são definidas por amplitudes ao redor de 20m e declividades entre 2 e 5%. Associados ao relevo de colinas ocorrem elevações isoladas, com baixa inclinação, que representam as unidades geomorfométricas 5 e 6, definindo o recuo das encostas na direção norte.

Unidade de Platôs Festonados

A unidade denominada Platôs festonados ocupa 29,30% do total da bacia. Esta unidade está representada por áreas levemente onduladas no topo, com declividades entre 2% e 5%, caracterizadas pelas unidades geomorfométricas de 05 a 08. Nas bordas as encostas são inclinadas, podendo ultrapassar declividades de 15%, representadas pelas unidades geomorfométricas de 1 a 4. Essas formas estão associadas a lineamentos estruturais de direção N50—70W. Nos lineamentos, que cortam o Platô, se encaixa a rede de drenagem gerando um aspecto festonado. Esta unidade representa os divisores de água do médio e baixo curso com altitudes máximas ao redor de 100m. A dissecação ocorre de leste para oeste, gerando formas alongadas e mais dissecadas nas porções leste da bacia.

Unidade dos Vales entre Platôs

Esta unidade corresponde as porções, do Platô, entalhadas pela rede de drenagem que é controlada por feições estruturais associadas a falhamentos e fraturas do substrato rochoso. A relação com as estruturas geológicas se reflete em uma rede de drenagem com padrão do tipo treliça. Ocupam 22,67% da bacia, formando a rede de drenagem do médio e baixo curso rio Oudon.

Unidade de áreas planas junto a foz

A unidade, denominada de áreas planas junto a foz, ocorre no baixo curso do rio Oudon, com altitudes ao redor de 40m. Localizadas próximos a foz do rio Oudon são representadas por áreas planas com declividades ao redor de 2%, associadas a unidade geomorfométrica 14, formando áreas de acúmulo de água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação das unidades de relevo foi com base no MDTs, utilizando diferentes atributos e variáveis geomorfométricas, através da interpretação e correlação visual, com auxílio da sobreposição dos *layers* em SIG.

Esta análise permitiu definir sete unidades homogêneas de relevo na bacia do rio Oudon: Unidade Áreas Planas do alto curso, Unidade dos Vales de Dissecação, Unidade de Colinas suavemente onduladas do alto curso, Unidade de colinas com elevações isoladas, Unidade de Platôs Festonados, Unidade dos Vales entre Platôs, Unidade de áreas planas junto a foz.

A metodologia utilizada demonstrou ser apropriada para caracterizar os principais aspectos do relevo da bacia do rio Oudon e corresponde a unidades reconhecidas geomorfologicamente.

As unidades de relevo identificadas apresentam comportamentos diferentes frente aos processos que ocorrem na superfície e, além disso, o relevo mostra-se diretamente relacionado com os processos de formação do solo e de uso e ocupação.

Portanto, a classificação e a cartografia morfológica apresentada possui potencial para ser utilizado em trabalhos de levantamento e planejamento considerando que as formas do relevo exercem papel decisivo no tempo de exposição dos materiais, na intensidade e direção do fluxo da água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do programa franco-brasileiro CAPES-COFECUB, Projeto nº 580/07.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, Instituto de Geografia – USP, n.19, p,1-23, 1969.
- ARENAS-RÍOS, M. **Estudo Cartografia geotécnica e visões fractais da geometria do relevo**. Dissertação (Mestrado), Publicação G.DM-205/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2012 128 p.
- CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. São Paulo: Contexto, 1991. 147 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 313 p.
- DIKAU, R. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: RAPER, J. (Ed.). **Three dimensional applications in geographic information systems**. New York: Taylor and Francis. 1989. p.51-77.
- HERMUCHE, P. M.; ANDRADE, A. C.; GUIMARÃES, R. F.; LEAL, CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. Compartimentação Geomorfológica em escala regional da bacia do rio Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, X, 2003, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: SBGFA, 2003.
- HUGGET, R. J. Soil Landscape Systems: A model of soil genesis. **Geoderma**, v.13, p. 1-22, 1975.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. IPT. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000, v. 2, 1981. 130 p.
- IRVIN, B. J.; VENTURA, S. J.; SLATER, B.K. Fuzzy and Isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant alley. **Geoderma**, v.77, p. 137-154, 1997.
- KLINGEBIEL, A. A.; HORVARTH, E. H.; MOORE, D. G.; REYBOLD, W.U. Use of slope, aspect, and elevation maps derived from digital elevation model data in making soil surveys. **Soil Science Society of America.SSSA Special Publication**.n.20, p.77-90, 1987.
- LAURENT F. and RUELLAND D. Assessing impacts of alternative land use and agricultural practices on nitrate pollution at the catchment scale. **Journal of Hydrology**. n. 409, p. 440-450. 2011.
- MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A. R. Digital terrain modeling: A review of Hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, p. 3-30, 1991.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia. Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.
- SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MONTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. A.; OKA-FIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia agraria**, v.9, n.3, p.317-329, 2008.
- SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos**: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia. - Curitiba, 2010.153 f.

SOARES, P.C.; PIO FIORI, A. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Boletim Geográfico**, v. 258/259, p.35-59, 1978.

STRAHLER, A.N. Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1117-1142, 1952.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**, v.263, p.616-627, 1965.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S.S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 4, p.85-144, 2005.

Recebido em dezembro de 2014

Aceito em março de 2015