Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Proposta de zoneamento ambiental para a Reserva Biológica das Araucárias-PR com base em atributos topográficos

Ronaldo Ferreira Maganhotto¹, Marciel Lohmann², Luis Claudio de Paula Souza³, Jairo Calderari de Oliveira Junior³

¹ Professor Doutor na Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), Campus Irati, Rua Professora Maria Roza Zanon de Almeida, CEP 84505677; Irati/PR, (42) 3621-3040, ronaldomaganhotto@gmail.com; ² Professor Doutor na Universidade Estadual de Londrina (UEL), Rodovia Celso Garcia Cid, CEP 86057970, Londrina/PR, (43) 3371-4160, marciel@uel.br; ³ Professor Doutor na Universidade Federal do Paraná (UFPR), Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035050, Curitiba/PR, (41) 3350-5658, lcsouza@ufpr.br, calderari@ufpr.br;

Artigo recebido em 19/05/2020 e aceite em 09/07/2020

RESUMO

O consumo dos recursos naturais trouxe à tona questionamentos sobre o que pode ser feito para evitar prejuízos cada vez maiores à natureza. Sendo assim, as Unidades de Conservação (UCs) passam a exercer papel primordial no processo de proteção ambiental. Soma-se a isso o plano de manejo, instrumento que estabelece o zoneamento da UC e as normas que devem presidir o uso da área. Nesse contexto, este trabalho objetivou propor o zoneamento ambiental da REBIO das Araucárias a partir do processamento de atributos topográficos e das suas correlações com o uso do solo. Para tanto, foram gerados diversos atributos topográficos derivados do Modelo Digital do Terreno (MDT). Como resultados, verificou-se que a utilização dos atributos topográficos possibilitou o entendimento das informações pedológicas e de limitação de uso (susceptibilidade ambiental). Logo, para o zoneamento, realizou-se tabulação cruzada entre a Limitação de Uso e o Uso do Solo, sendo delineadas as Zonas de Manejo da unidade.

Palavras-chave: Geotecnologia; Atributos Topográficos; Áreas Protegidas.

Environmental zoning proposal for the Araucária Biological Reserve based on topographic attributes

ABSTRACT

The consumption of natural resources has raised questions about what can be done to avoid increasing damage to nature. Thus, Conservation Units (PAs) play a major role in the process of environmental protection. Add to this the management plan, an instrument that establishes the zoning of the CU and the norms that should govern the use of the area. In this context, this work aimed to propose the environmental zoning of REBIO das Araucárias from the processing of topographic attributes and their correlations with land use. For this, several topographic attributes derived from the Digital Terrain Model (DTM) were generated. As results, it was verified that the use of the topographic attributes made possible the understanding of the pedological information and of limitation of use (environmental susceptibility). Therefore, for the zoning, a cross-tabulation was performed between the Use Limitation and the Land Use, and the Management Areas of the unit were delineated.

Keywords: Geotechnology; Topographic Attributes; Protected Areas.

Introdução

Frente a necessidade de assegurar a preservação dos recursos naturais, o Brasil adotou, em 1937, a criação de áreas protegidas, instituindo nos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo, o Parque Nacional de Itatiaia, o qual se configura como primeira unidade de conservação, UC, brasileira.

No entanto, a criação de UC's teve maior

expressividade a partir da década de 80, registrou-se para este período a marca de 91 unidades, valor equivalente a 29% do total de UC's federais. A década seguinte, foi marcada pela criação de 54 unidades, correspondendo a 17% das unidades federais já legitimadas. Para os anos de 2000 a 2012 tem-se a marca de 130 UC's, valor correspondente a 42% das unidades federais instituídas (ICMBio, 2012).

Embora se observe um significativo aumento no número de Unidades de Conservação (UC) no Brasil (Strapazzon e Mello, 2015), muitas ainda carecem de um plano de manejo. Os roteiros metodológicos para elaboração de planos de manejo apresentam limitação por serem generalista (Galante et al., 2002, Miara; Oka-Fiori, 2012). Condição esta que pode estar associada à subjetividade e ao conhecimento tácito, atrelados às metodologias mais usuais para o julgamento das variáveis necessárias ao delineamento do zoneamento ambiental, como os aspectos geomorfológicos e pedológicos (Hudson, 1992).

Uma forma de contornar esta limitação se dá pela quantificação dos aspectos morfológicos e pelo conjunto de técnicas que compõem a geomorfometria (Silveira et al., 2013), ou seja, o processo de extração de atributos quantitativos obtidos por meio de equações aplicadas a um Modelo Digital do Terreno (MDT), executado por meio de técnicas de modelagem digital e que, em geral, empregadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Para tanto o processamento de Atributos Topográficos (também denominados de Índices de Representação do Relevo), são utilizados tanto para o mapeamento de solos (pedometria), quanto, na caracterização da susceptibilidade ambiental, mapeamento de formas de relevo entre outras (Ross, 2012; Prates et al., 2012; Oliveira Junior et al., 2014; Maganhotto et al., 2013; Maganhotto *et al.*, 2016).

Frente estas aplicações surge a seguinte questão: o processamento dos atributos topográficos pode auxiliar na elaboração do Zoneamento Ambiental de uma unidade de conservação?

Entre os diversos índices possíveis de serem extraídos a partir do MDT, estão: o índice Altitude Above Channel Network (AACN) que representa a distância vertical do local em relação ao canal de drenagem mais próximo, indicando possíveis problemas com saturação de água ou hidromorfismo (Böhner et al., 2002). O atributo TWI sugere áreas em que fluxo de água são convergentes, ou que permaneçam por longos períodos saturados por água, indicando maior fragilidade (Lin et al., 2006). O Multi Resolution Index for Valley Bottom Flatness (MRVBF), indica erosão ou deposição na paisagem (Carvalho Junior et al., 2014; McKenzie e Gallant, 2007). Já o LS simula a energia com que a água de escoamento superficial pode atingir no local em questão, e indicando o potencial de erosão (Moore

et al., 1993). Estes atributos possibilitam o entendimento da dinâmica de causa e efeito relacionada ao relevo, favorecendo a identificação de áreas sujeitas à erosão e sedimentação, assim como, à distribuição dos solos.

Entendendo as possíveis associações dos atributos topográficos com os processos geomorfológicos e informações pedológicas tem-se como hipótese que o processamento dos mesmos podem ser associados a erosão e a sedimentação, processos estes relevantes na delimitação de Classes Limitantes, as quais, quando associadas ao uso do solo caracterizam a dinâmica ambiental da área em estudo, favorecendo tomadas de decisão em prol da conservação dos recursos naturais e cumprimento dos objetivos de criação da unidade de conservação.

Utilizando de tais índices (AACN, TWI, MRVBF, Slope e Ls Factor) o presente trabalho tem como objetivo propor o Zoneamento Ambiental para a Reserva Biológica das Araucárias a partir do processamento dos atributos topográficos e da sua correlação com o uso do solo da unidade. Entende-se que esta proposta poderá subsidiar a elaboração do plano de manejo da UC Reserva Biológica (REBIO) das Araucárias, bem como auxiliar na gestão da unidade.

Material e métodos

Área de estudo

A REBIO das Araucárias está situada na região Sudeste do Estado do Paraná, e está contemplada nos municípios de Teixeira Soares, Ibituva e Ipiranga, disposta em uma área de 14.930,49 ha, tendo como coordenadas de referência 25°08'59.71"W e 25°25'5.37"S (Figura 1). Foi criada via decreto, em 23 de 2006, a Reserva Biológica das Araucárias tendo como objetivos:

- Preservar os ambientes naturais ali existentes com destaque para os remanescentes de Floresta Ombrófila Mista e Várzeas;
- Realizar pesquisas científicas e desenvolver atividades de educação ambiental.

A geologia da área compreende os siltitos da Formação Palermo e folhelhos da Formação Ponta Grossa, ambos de idade Paleozóica. A vegetação original da região é de Mata com Araucárias, com a rede de drenagem tendo o rio Ibituva como seu principal tributário e o clima definido como subtropical, com verão temperado (Cfb).

Figura 1. Localização REBIO das Araucárias.
Elaboração: Os autores, 2020.

O uso do solo na REBIO pode ser dividido em 9 classes, das quais 3 predominam territorialmente (Figura 2). Com aproximados 10.290,54 ha para áreas com Mata com Araucária

(69,37% do total); 2.865,884 ha de áreas de várzea na região central, oeste e nas adjacências do Rio Imbituva (19,31% do total); e uso agrícola

em áreas fragmentadas e dispersas na REBIO contemplando 1.415,58 ha (9,54% do total).

Os corpos da água totalizam, em torno de 103,55 ha e encontram-se envolvidos pelas áreas de várzea; As áreas de reflorestamento se apresentam como fragmento dispersos, localizados nos limites da unidade nas regiões sudeste, sudoeste e norte, somadas elencam 90,68

ha; As parcelas com solo exposto correspondem a aceiros na região central da unidade, entreando a floresta com a araucária e a fragmentos dispersos próximos ao perímetro da unidade, abrangem uma extensão de aproximadamente 58,243 há.

Figura 2. Uso e Cobertura da Terra da REBIO das Araucárias.

Processamento do Modelo Digital do Terreno (MDT)

Para a geração do MDT foram utilizadas curvas de nível digitalizadas, com equidistância de 10 m, das cartas SG-22-X-C-I-2; SG-22-X-C-II-1; SG-22-X-C-I-4 e SG-22-X-C-II-3. A transformação do arquivo de curvas (vetor) em arquivo matricial (raster) foi conduzida por meio do interpolador, B-Spline Approximation disponível no software System for Automated Geoscientific Analyses – SAGA, versão 6.3 (Conrad et al., 2015). Em seguida, esses dados foram exportados para o Idrisi Andes e, com o apoio da função *Surface*, obteve-se a Carta de Declive. Utilizou-se para classificação de declividade os intervalos sugeridos por Lepsch et al. (2015), considerada adequada para analisar o uso da terra e utilizada anteriormente por Maganhotto et al. (2013), Maganhotto et al.

(2016).

Classificação da fragilidade ambiental

Os valores que foram utilizados para classificação dos índices em relação às condições ambientais que eles representam foram extraídos de diversos trabalhos e apresentados de forma sintetizada no Quadro 1. Esses valores foram considerados para reclassificação da imagem de cada fator e, posteriormente, foi estabelecido para cada índice um coeficiente de importância relativa conforme a metodologia publicada por Maganhotto et al., 2017. Além de permitir o estabelecimento do fator de maior significância, o processo resulta em um peso para cada atributo topográfico, demonstrando quanto um é mais importante que o outro e como compensam uns aos outros.

Quadro 1. Parâmetros estabelecidos para o processamento dos IRR.

IRR	Fator	Valores	Referências
Drenagem dos Solos			
AACN	1 – Extremamente Ruim	0 - 2	Maganhotto et al. (2014)
	2 – Muito Ruim	2 - 4	
	3 - Ruim	4 - 8	Maganhotto et al. (2016)
	4 – Regular	8 - 15	
	5 – Bom	> 15	
Potencial Erosivo			
TWI	1 – Extremamente Ruim	> 12	Lin et al. (2006) Prates et al. (2012)
	2 – Muito Ruim	8 - 12	
	3 – Ruim	5 - 8	
	4 - Regular	3 - 5	
	5 – Bom	0 - 3	
Potencial Erosão/Sedimentação			
MRVBF	Bom	0,5 – 2,0	Mckenzie & Gallant (2007)
	Regular	0,25 – 0,5	
	Ruim	0 – 0,25	Maganhotto et al. (2014)
	Muito Ruim	2,0 – 4,0	
	Extremamente Ruim	4,0 - 100	Maganhotto et al. (2016)
Clinografia			
Slope	1 – Extremamente Ruim	> 75%	Santos et al. (2013)
	2 – Muito Ruim	45 – 75%	
	3 – Ruim	20 – 45%	Lepsch et al. (2015)
	4 - Regular	13 – 20%	
	5 - Bom	0 – 13%	
Drenagem dos Solos			
LS Factor	1 – Bom	< 3	Mansor et al. (2002) <i>apud</i> Maganhotto et al. (2016)
	2 - Regular	3 - 5	
	3 - Ruim	5 - 8	
	4 – Muito Ruim	8 - 12	
	5 – Extremamente Ruim	> 12	

Elaboração: Os autores, 2020.

Correlação entre limitação de uso e uso do solo

A aplicação da tabulação cruzada proporciona a integração das variáveis por superposição de mapas ou álgebra de mapas, indicando o conjunto de procedimentos de análise espacial em geoprocessamento que produz novos dados a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas (Silveira, 2010). Para Neto (2004), a Tabulação Cruzada é entendida como uma tabela de informações de duas ou mais variáveis que são consideradas conjuntamente.

Quando se deseja descrever uma relação entre variáveis, os dados podem ser facilmente resumidos por meio de uma tabela cruzada ou de contingência. Este método se dá em uma tabela retangular, com linhas indicadoras para cada

categoria da variável X, e colunas indicadoras para cada categoria da variável Y. Portanto, existe uma célula na tabela para qualquer combinação possível de valores de X e de Y, sendo cada combinação representada por (x,y) (Massad et al., 2004).

Utilizando-se da função *Crosstab*, presente no *software* Idrisi, realizou-se tabulação cruzada das Classes de Uso com as Classes Limitantes a fim de facilitar a determinação das Classes de Zoneamento. Este procedimento facilitou a visualização da disposição das Classes de Uso nas Classes Limitantes, condição fundamental à identificação da (in)compatibilidade existente entre as mesmas.

Resultados e discussão

Atributos topográficos

Estabelecidos os procedimentos

metodológicos, realizou-se o processamento do MDT para obtenção dos atributos topográficos: *Altitude Above Channel Network* (AACN), *Topographic Wetness Index* (TWI), *Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness* (MRVBF), declividade (*Slope*) e de potencial de perda de solo (*Slope Length - LS Factor*), Figura 3 a 7. Possibilitando a associação destes índices as características pedológicas e geomorfológicas, conforme o descrito nos parágrafos que se seguem (Maganhotto et al. 2017).

A escolha dos referidos índices justifica-se devido a relação dos mesmos com os processos geomorfológicos, parâmetros pedológicos e susceptibilidade ambiental (Prates et al., 2012; Maganhotto et al. 2013; Oliveira Junior et al., 2014; Maganhotto et al. 2016).

Dessa forma, é possível afirmar que uma área correspondente a 50% da REBIO (7.484 ha) apresenta restrição quanto aos problemas de saturação hídrica ou sujeitas a inundação, com valores de AACN variando de 0 a 5 m (Prates et al., 2012).

Baseando-se nos parâmetros determinados

por Prates et al. (2012) e Lin et al. (2006), pode-se afirmar que cerca de 1.850 ha (55% da unidade), correspondem a superfícies com elevada umidade, associadas a valores de TWI maiores que 8 e que podem apresentar excesso de água por um período curto do ano.

Correlacionando as informações tabuladas com os parâmetros definidos por McKenzie e Gallant (2007) para o referido atributo, pode-se afirmar o predomínio de processos erosivos em aproximadamente 5.580 ha (37%) da UC, os quais apresentaram valores de MRVBF entre 0 a 0,5. Em 4.525 ha (30% da UC), os valores de MRVBF foram superiores a 2,5; sugerindo largas planícies aluviais, em que os sedimentos depositados provavelmente são aportados pelo rio (Moore et al., 1993). Os 4.875 ha restantes (33%) distribuem-se em áreas com predomínio de processos sedimentares, mas relacionadas a planícies aluviais menores, em que os sedimentos depositados provavelmente são oriundos da erosão das encostas adjacentes.

Figura 3 – Índice AACN da REBIO.

Figura 4 – Índice de umidade da REBIO.

Figura 5 – Índice de erosão/sedimentação da REBIO.

Figura 6 – Clinografia da REBIO.

Figura 7 – Índice LS da REBIO.

Em 1.914 ha (13% da UC), a declividade (*Slope*) foi identificada com valores maiores que 15%, necessitando de maiores cuidados devido sua propensão aos processos erosivos.

Tomando como base os valores apresentados por Mansor et al. (2002) *apud* Maganhotto et al. (2016), frente ao atributo *Ls Factor*, verifica-se que 4.033 ha da REBIO (27% da área total) apresentaram grande potencial erosivo, com valores deste índice maiores que 4.

Desta feita a fim de associar estes índices à obtenção de uma Carta de Fragilidade, realizou-se a síntese dos mesmos utilizando-se da Análise por Múltiplos Critérios, resultando produto o denominado de Limitação de Uso da REBIO das Araucárias (Maganhotto et al. 2017).

Estudos como os de Pineda et al. (2017), Szymanowski et al. (2019) e Sofia (2019) também utilizaram os atributos topográficos e afirmam que o uso dos mesmos mostra eficácia na delimitação de unidades geomorfológicas mediante a

classificação das características físicas da paisagem utilizando técnicas de geoprocessamento.

Limitação de uso na REBIO das Araucárias

Ao aplicar a análise MCE com os pesos descritos anteriormente, foram identificadas quatro classes de fragilidade ambiental (Classes Limitantes) na REBIO, sendo elas: Limitação Muito Baixa, Baixa, Média e Alta, apresentadas na Figura 8 e Tabela 1. A maior parte da sua área foi classificada como de Limitação Baixa e Muito Baixa (48% e 18,3%, respectivamente), principalmente na porção central e leste (Figura 8). As áreas com Limitação Média perfazem 15,2%, enquanto as áreas com Limitação Muito Alta perfazem 18,5% da área total da REBIO. Na identificação das Classes de Limitação Ambiental, alguns IRR apresentaram valores similares, sendo necessário a análise de mais de um IRR para caracterizar as condições limitantes.

Figura 8 – Mapa ilustrando as classes de limitação de uso da REBIO das Araucárias

Tabela 1 - Correlação dos IRR com as Classes Limitantes

	Classe Limitação Muito Baixa				Classe Limitação Baixa			
IRR	Mín.	Máx.	Média	Desvio	Mín.	Máx.	Média	Desvio
AACN	0	74.325	19.768	13.905	0	74.974	9.3079	13.168
LS	0	2.445	0.209	0.194	0	4.336	0.501	0.512

MRVBF	0.0039	5.486	1.662	0.853	0.0039	5.950	1.702	1.403
Slope	0.0035	13.512	2.517	1.608	0.0020	18.837	5.143	3.484
TWI	4.576	19.854	8.367	1.384	3.3108	25.262	9.309	3.166
Área: 2.722,872 ha					Área: 7153.04 2 ha			
Classe Limitação Média					Classe Limitação Alta			
AACN	0	75.296	15.189	12.032	0	76.839	11.467	13.910
LS	0	13.853	2.713	1.286	0	6.273	0.985	0.896
MRVBF	0	2.974	0.086	0.181	0.0039	7.831	2.079	2.483
Slope	0.1532	72.585	19.929	6.611	0.0006	19.487	7.727	5.810
TWI	3.365	22.466	6.273	1.461	4.404	25.242	8.461	3.015
Área: 2257.464 ha					Área: 2759.015 ha			

Elaboração: Os autores, 2020.

Classe limitação muito baixa

A Figura 8 apresenta a disposição das Classes Limitantes na unidade e os valores máximos, mínimos e médios dos IRR nas Classes Limitantes. As áreas classificadas como de Limitação Muito Baixa estão situadas distantes do canal de drenagem, 19,8 m em média, mas com valores de declividade relativamente baixos (média de 2,5%). O valor médio do MRVBF foi similar ao da classe anterior (1,7), com a umidade da encosta se destacando como principal fator limitante dessa área, representada pelos valores de TWI menores em relação a classe apresentada anteriormente. Em termos de distribuição espacial da área, essa classe está representada por fragmentos dispersos pela REBIO, geralmente na transição entre as áreas de Limitação Muito Baixa e Média.

Classe limitação baixa

As áreas classificadas como de limitação baixa têm como característica AACN médio de 9,3 m (Figura 8), ou seja, uma distância vertical relativamente grande em relação ao canal de drenagem e consequentemente do lençol freático. Por conta disso, essas áreas não sofrem com encharcamentos de água. A declividade média de 5,1% indica áreas suaves onduladas (LEPSCH et al., 2015), em que o escoamento lateral de água ocorre de forma suave, sem tendência a processos erosivos em sulcos. O MRVBF médio de 1,7 o qual poderia ser interpretado individualmente como área mal drenada (Figura 8), caso a mesma não se situasse tão distante do canal de drenagem (PRATES; SOUZA; OLIVEIRA JUNIOR, 2012). O valor médio de LS sugere que essas áreas não

estão sujeitas a processos erosivos intensos e, concomitante aos dados de AACN e MRVBF, justificam a inclusão da mesma como de muito baixo risco ambiental, ou de degradação.

Classe limitação média

A classe de fragilidade média perfaz 2.257,46 ha da REBIO (15,2%) da unidade e sua distinção das outras classes se dá principalmente pelo menor valor de MRVBF que, segundo McKenzie e Gallant (2007), representam processos de erosão intensos, uma vez que essas áreas predominam no sopé da encosta, recebendo sedimentos transportados de toda vertente. Os valores de TWI de 10 seriam suficientes para caracterizar esse ambiente como mal drenado (Lin et al., 2006, Prates et al. 2012). Apesar dos valores médios de AACN e TWI não apresentarem grande diferença para a classe de baixa limitação, é possível observar na Figura 8 que as áreas enquadradas nessa classe coincidem com aquelas mais próximas ao canal de drenagem e com maiores valores de TWI. Essa pequena variação dos valores médios se deve, provavelmente, a classe de baixa limitação situar-se na transição entre outras duas classes, como mencionado anteriormente.

Classe limitação alta

As áreas classificadas como de grande fragilidade ambiental somam 2.759,01 ha (18,5% da área total da REBIO). Declividade e LS foram os IRR que apresentaram grande variação em relação as demais classes e consequentemente foram os determinantes para a enquadramento dessas áreas como tal. A média dos valores de declividade para a classe foi de 7,7%, condição em que predomina o movimento lateral da água,

com reduzida infiltração no perfil e potencializando os processos erosivos. Este último corrobora com os elevados valores de LS, o qual também considera comprimento de rampa além da declividade.

A análise dos valores médios indica o predomínio dessa classe em áreas com intensos processos erosivos. No entanto, observa-se a oeste da REBIO (Figura 8), elevados valores de TWI e MRVBF associados a pequenos valores de AACN sugestionando área mal drenada e com sérios problemas de saturação hídrica. Desta feita, verifica-se que a Limitação Alta associa-se tanto aos intensos processos de erosão, quanto de sedimentação.

O estabelecimento das zonas a partir das classes limitantes

O conceito de zoneamento utilizado por Galante et al. (2002), Chagas et al. (2003), Ferreira et al. (2004) e Gonçalves et al. (2009), autores dos Roteiros Metodológicos para Elaboração de Plano de Manejo, é o que se encontra no Capítulo I, Art. 2º XVII da Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

De acordo com o SNUC (2000) o zoneamento consiste na, “definição de setores ou zonas em uma unidade de conservação com objetivos de manejo e normas específicos, com o propósito de proporcionar os meios e as condições para que todos os objetivos da unidade possam ser alcançados de forma harmônica e eficaz” (Brasil, 2000).

Quanto ao zoneamento, entende-se que o mais importante é a identificação das unidades homogêneas, sua fragilidade ambiental, bem como a associação da mesma a um uso compatível com sua aptidão e limitação.

As diretrizes de zoneamento apresentadas nas publicações de Galante et al. (2002) e demais roteiros metodológicos, destinados a elaboração de plano de manejo, encaminham o seu estabelecimento. No entanto, há necessidade da definição de dados complementares que orientem a aquisição de determinadas informações. Como, por exemplo, a caracterização e processamento dos IRR, conforme o discutido na seção anterior, espacializando a variabilidade/susceptibilidade ambiental da unidade.

Para Galante et al. (2002) nas reservas biológicas podem conter as zonas intangível e primitiva, tendo a segunda como envolvente da primeira. A zona de uso especial e a zona de uso extensivo deverão ser periférica, devido o caráter administrativo da primeira e a possibilidade de práticas de educação ambiental para a segunda.

O zoneamento configura-se como etapa determinante à eficiência do Plano de Manejo e sua delimitação deve fundamentar-se no entendimento da natureza, de suas funções e limitações.

Tendo como base a caracterização das zonas, publicado por Gonçalves et al. (2009), sugere-se para orientação do zoneamento, a associação destas informações as Classes Limitantes, certificando que as atividades inerentes a unidade são conciliáveis a limitação das áreas em que serão desenvolvidas.

Diversos trabalhos na literatura discutem a aplicação dos atributos topográficos em pedometria ou na definição e delimitação de unidades geomorfológicas como por exemplo em Silveira et al, 2012; Silveira et al. 2014; Nowatzki et al. 2014; Grieve et al. 2016; Zhang, 2016; Pineda et al. 2017; Bortolini et al. 2017, Szymanowski et al. 2019; entre outros. No entanto, trabalhos que utilizaram tais atributos para definição de zoneamento de UCs é provavelmente o primeiro.

Desta forma, sugere-se para o estabelecimento do zoneamento a combinação entre as Classes Limitantes ao Grau de Intervenção/Permissividade das zonas.

Para as zonas com grau de intervenção/permissividade alto, como a Zona de Uso Especial, relacionadas a implantação de edificações sugere-se sua sobreposição às Classes com Limitação Muito Baixa e Baixa. Logo, a Zona de Recuperação e a de Uso Conflitante são definidas conforme a ocorrência de situações (uso) que as condicionam. Para as zonas com grau de intervenção/permissividade Intermediárias, como a Zona de Uso Extensivo, caracterizada por atividades de baixo impacto, indica-se a associação a Classe de Limitação Média; e, por fim, para as Zonas Restritivas, inerentes às atividades controladas, Zona Primitiva e Intangível, designa-se a Classe com Limitação Alta. A Figura 9, espacializa estas correlações.

Figura 9 – Grau de intervenção da REBIO

Tabulação cruzada: uso atual x limitação de uso

A aplicação da tabulação cruzada proporciona a integração das variáveis por superposição de mapas ou álgebra de mapas, indicando o conjunto de procedimentos de análise espacial em geoprocessamento que produz novos dados a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas (Silveira, 2010). Para Neto (2004), a Tabulação Cruzada é entendida como uma tabela de informações de duas ou mais variáveis que são consideradas conjuntamente.

Maganhotto *et al.* (2019), em sua proposta de a Readequação do Zoneamento Ambiental para a Flona de Irati, utilizou-se destes índices, parâmetros e Tabulação Cruzada para a obtenção de sua proposta. Ressaltou a importância do processamento dos índices a fim de contemplar informações geomorfológicas, bem como, a relevância do cruzamento das Classes Limitantes (obtidas com o processamento dos atributos topográficos) com o Zoneamento Ambiental apresentado no Plano de Manejo da unidade. Ressaltou que estes procedimentos possibilitaram “a compatibilização de áreas de maior fragilidade a zonas mais restritivas e as menos frágeis as mais permissivas” otimizando

assim aptidão e limitação de uso das áreas da FLONA de Irati.

Na pesquisa em questão, em busca de da compatibilidade entre as formas de uso e características ambientais a Ferrovia foi classificada como Zona de Uso Conflitante, totalizando 7,8 ha (0,05% da área total). Definição pautada no material de Galante *et al.* (2002) este espaço ocupado pela ferrovia possui um uso e finalidade, que apesar de estabelecido antes da criação da REBIO, conflitam com seus objetivos de preservação.

O Solo Exposto, o Reflorestamento e a Agricultura por se tratar de áreas consideravelmente antropizadas, foram classificadas como Zona de Recuperação, totalizando uma área de 1.564,5 ha (10,5%). Para esta Zona a espacialização e quantificação dos IRR, não foi determinante a delimitação da mesma, no entanto, seu processamento revela que cerca de 443,88 ha (28,3%) da Zona de Recuperação encontra-se em classes de fragilidade ambiental Média e Alta e em solos susceptíveis a erosão como o Neossolos e Cambissolos e a sedimentação com os Gleissolos. Esta informação deve contribuir no planejamento e nas ações de combate a degradação e de restauração da zona, as

áreas situadas nestas classes de limitação (média e alta) se mostram susceptíveis tanto a erosão quanto a sedimentação conforme o caracterizado anteriormente.

Ao considerar o Uso do Solo, verificou-se atividades, infraestrutura e condições físicas ambientais conflitantes aos objetivos e propósito

de criação da unidade, denotando a readequação de áreas com determinadas tipologias de uso, tabulação apresentada na Tabela 2, fundamentando a proposta de zoneamento espacializada na Figura 10.

Tabela 2 - Tabulação Cruzada ilustrando as Classes de Uso x Classes Limitantes

Classes de Uso	Classes Limitantes				Classes de Zoneamento	Área (ha)
	M. Baixa (%)	Baixa (%)	Média (%)	Alta (%)		
Ferrovia	55,4%	28,5%	6,7%	9,4%	Conflitante	7,8 ha
Solo Exposto	31%	38,8%	14,7%	15,5%	Recuperação	1.564,5 ha
Reflorestamento	18,9%	58%	16,4%	6,5%		
Agricultura	24,4%	47%	10%	18,6%		
Corpos d'Água	1,3%	70,8%	2,7%	25,2%	Intangível	2969,4 ha
Várzeas e C. Úmidos	11,2%	58,4%	3,4%	27%		
Edificações	11,4%	47,5%	20,8%	20,3%	Uso Especial	60,12 ha
Malha Viária	34,5 %	46,6%	10,1%	8,8%		
Floresta com Araucária	20%	45%	18,80%	16,2%	Extensivo	6631.35 ha
					Primitiva	3659.18 ha

Elaboração: Os autores, 2020.

Considerando a fragilidade física ambiental e a importância para manutenção do sistema hídrico, os 2.969,4 ha de Corpos de Água, Áreas de Várzea e Campos Úmidos compreendem a Zona Intangível da REBIO (20% da área total).

Considerando que as atividades admitidas para esta zona, caracterizam-se pelo uso indireto dos recursos naturais, por meio do

desenvolvimento de pesquisas, educação ambiental e visitação controlada, evidenciou-se compatibilidade entre seu uso e limitação da área em que está inserida, assegurando, assim, a preservação dos locais com maiores limitações vinculadas às superfícies relacionadas à sedimentação, ao acúmulo de água e aos Gleissolos.

Figura 10 - Mapa de Zoneamento Ambiental

A Zona de Uso Especial foi definida a partir da vocação de uso das Edificações e da Malha Viária. Para esta classe, foram mapeados 60,12 ha (0,4%), onde tanto as estradas, quanto as edificações existentes poderão, se possível, serem readequadas e reutilizadas como infraestrutura de apoio a visitação e administração das unidades.

Outro fator que corrobora com tal afirmação dá-se pelo fato destas instalações e estradas situarem-se nas adjacências do perímetro da REBIO, condição, esta, apontada por Galante *et al.* (2002) como um critério para determinação desta zona. Como o objetivo de manejo da Zona de Uso Especial busca minimizar o impacto da implantação das estruturas na unidade, torna-se evidente, que as ações recorrentes ao manejo da mesma, tenha por base a compatibilidade entre atividades previstas e sua fragilidade física ambiental, assim as informações obtidas com os IRR (fragilidade ambiental), vai ao encontro de tal procedimento. Ainda relacionada a Zona de Uso Especial, cerca de 12,8 ha da unidade encontram-se localizados nas classes de fragilidade média e alta, denotando, assim, maior atenção no manejo destas áreas.

Como verificou-se uma condição homogênea para a Floresta com Araucária, utilizou-se das classes de fragilidade para delimitar as possíveis zonas recorrentes a mesma. Neste contexto, atribuiu-se a Floresta com Araucária a

Zona de Uso Extensivo - definidas a partir das Classes Limitantes Muito Baixa e Baixa; e a Zona Primitiva - delimitada com base nas Classes Limitantes Média e Alta dispostas na referida forma de uso. A partir destas correlações, registra-se para a Zona Primitiva 3.659,18 ha (área equivalente a 24,5% da unidade) e 6.631,35 ha para a Zona de Uso Extensivo (44,5% da área total da REBIO).

Considerações Finais

A literatura já forneceu inúmeras contribuições sobre a importância da geomorfometria nas ciências da terra. Neste trabalho, a utilização dos atributos topográficos foi de grande utilidade para associação de informações pedológicas e susceptibilidade ambiental, subsidiando a definição do Zoneamento Ambiental proposto para a UC Reserva Biológica (REBIO) das Araucárias de forma rápida, menos subjetiva e com menor custo.

A classe de fragilidade ambiental alta teve os atributos declividade e LS como os principais responsáveis pelo seu mapeamento e, em áreas menores, elevados valores de TWI e MRVBF.

A confrontação do uso atual do solo com a Classes Limitantes, indicou que 28,3% da Zona de Recuperação da REBIO são altamente susceptíveis aos processos de erosão e sedimentação, sendo assim, áreas prioritárias na elaboração do plano de

manejo da UC.

Para as formas de uso determinantes ao estabelecimento de determinadas zonas, como a Ferrovia, Reflorestamento, Agricultura, Solo Exposto, Várzeas e Campos Úmidos, entende-se que as informações recorrentes à Variabilidade e Suscetibilidade Ambiental (Classes Limitantes), obtidas com o processamento dos atributos topográficos, se mostram relevantes ao planejamento das zonas estabelecidas e no reordenamento futuro das mesmas.

Desta feita, a avaliação conjunta destes produtos propicia o entendimento da dinâmica natural da unidade, subsidiando o uso racional da unidade e a preservação da mesma, assegurando os objetivos de criação da REBIO das Araucárias, e que o Zoneamento Ambiental configura-se como uma linha mestra à sustentabilidade ambiental nas unidades de conservação.

Ressalta-se ainda o caráter inovador deste trabalho no que diz respeito ao uso dos atributos topográficos para definição do zoneamento ambiental de uma UC, já que nos trabalhos consultados, foi possível observar que, em geral, os atributos são utilizados em pedometria e delimitação de unidades de relevo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná e a Fundação O Boticário pelo apoio financeiro dado ao desenvolvimento deste trabalho.

Referências

Böhner, J., Köthe R., Conrado, O., Gross J., Ringeler A., Selige T., 2002. Soil Regionalization by Means of Terrain Analysis and Process Parameterisation. In: Micheli, E.; Nachtergale, F.; Montanarella, L. (Eds.), Soil Classification 2002. European Soil Bureau - Research Report, Luxembourg, pp. 213-222.

Bortolini, W., Silveira, C. T., Silveira, R. M. P., 2017. Emprego de técnicas geomorfométricas na identificação de padrões de relevo. Ra'ega [online] 41. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/51724>. Acesso: 20 nov. 2019.

Carvalho Junior, W., Lagacherie P., Chagas, C. S., Calderano Filho, B., Bhering S. B., 2014. A regional-scale assessment of digital mapping of soil attributes in a tropical hillslope environment. Geoderma [online], 2014. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.06.007>. Acesso: 23 jul. 2019.

Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., Böhner, J., 2015: System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA), [online] 8. Disponível: <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>. Acesso: 10 jun. 2019.

Galante, M. L. V.; Beserra, M. M. L.; Menezes, E. O / IBAMA. 2002. Roteiro metodológico de planejamento: Parque Nacional, Reserva Biológica e Estação Ecológica [online] 1. Disponível: <http://ava.icmbio.gov.br/mod/data/view.php?d=17&rid=2634>. Acesso: 10 ago. 2019.

Grieve, S. W. D., Mudd S. M., Hurst M. D., Milodowski D. T., 2016. A nondimensional framework for exploring the relief structure of landscapes. Earth Surf. Dynam [online] 4. Disponível: <https://doi.org/10.5194/esurf-4-309-2016>. Acesso: 12 jan. 2019.

Hudson, B. D. 1992. The soil survey as a paradigm-based science. Soil Science Society of America Journal [online] 56. Disponível: <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030027x>. Acesso: 23 jun. 2019.

Ippoliti, R. G. A.; Costa, L. M.; Schaefer, C. E. G. R.; Filho, E.I.F.; Gaggero, M. R.; Souza, E. 2005. Análise digital de terreno: Ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “mar de morros” (MG). Revista Brasileira de Ciência do Solo [online] 29. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/rsc.v9i3.11517>. Acesso: 05 mar. 2018.

Lepsch, I. F.; Espindola, C. R.; Vischi Filho, O. J.; Hernani, L. C.; Siqueira, D. S. 2015. Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso, 1 ed. SBSCS, Viçosa.

Lin H.S, Kogelmann W., Walker C., Bruns M.A., 2006. Soil moisture patterns in a forested catchment: A hydropedological perspective. Geoderma [online] 131. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.03.013>. Acesso: 20 ago. 2019.

Maganhotto, R. F.; Santos, L. J. C.; Souza, L. C. P. Miara. M. A.; Lemes, P. H. S., 2013. A aplicação dos Índices de Representação do Relevo como ferramenta de suporte no planejamento ambiental de unidades de conservação. Revista Geografar [online] 8. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/geografar.v8i2.32334>. Acesso: 13 jan. 2019.

Maganhotto, R. F.; Lohmann, M.; Souza, L. C. P.; Santos, L. J. C., 2016. Os Índices de Representação do Relevo Como Suporte Para o Zoneamento Ambiental de Unidades de

- Conservação - Estudo de Caso da Floresta Nacional de Irati. *Geografia Ensino & Pesquisa* [online] 20. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5902/2236499422036>. Acesso: 08 set. 2018.
- Maganhotto, R. F.; Lohmann, M.; Souza, L. C. P.; Oliveira Junior, J. C. O uso de geotecnologias no planejamento ambiental de unidades de conservação: estudo de caso Reserva Biológica das Araucárias, in: PEREZ FILHO, A., AMORIM, R. R. (Org.), *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*. UNICAMP, Campinas, pp. 4821-4833. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2191>. Acesso: 05 maio 2019.
- Maganhotto, R., Lohmann, M., & Souza, L., 2019. The Re-adaptation of the Environmental Zoning of the Irati Flona from the Relief Representation Indexes. *Geosaberes* [online] 11. Disponível: <http://dx.doi.org/10.26895/geosaberes.v1i10.864>. Acesso: 16 out. 2019.
- Mckenzie, N. J.; Gallant, J. C., 2007. Digital soil mapping with improved environmental predictors and models of pedogenesis. In: Lagacherie, P.; Mcbratney, A.; Voltz, M (Org.). *Digital Soil Mapping*. Editor Elsevier, Amsterdam, pp. 327-349.
- Massad, E.; Menezes, R. X.; Silveira, P.S.P.; Ortega, N.R.S., 2004. Métodos quantitativos em Medicina, Manole, São Paulo.
- Miara, M. A, Oka-Fiori, C., 2012. Proposta de modelo metodológico para identificação de áreas potenciais a conservação - um estudo de caso: entorno do Parque Nacional dos Campos Gerais-PR. *Ra'ega* [online] 25. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v25i0.28015>. Acesso: 04 fev. 2019.
- Moore, I. D., Gessler, P.E., Nielsen, G. A., Peterson, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal* [online] 57. Disponível: <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700020026x>. Acesso: 10 jun. 2019.
- Nowatzki, A.; Santos, L. J. C., 2014. Mapeamento Preliminar de Solos por Pedometria com Base em Atributos Topográficos da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno-PR. *Raega* [online] 32. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v32i0.33769>. Acesso em: 21 jun 2019.
- Neto, P.V., 2004. Estatística descritiva: Conceitos básicos. São Paulo.
- Oliveira Junior, J. C., Melo, V. F., Souza, L. C. P., Rocha, H. O., 2014. Terrain attributes and spatial distribution of soil mineralogical attributes. *Geoderma* [online]. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.020>. Acesso: 07 jan. 2019.
- Pineda M. J. E., Robaina, L. E. S., Trentin R., Partida R. D. L., 2017. Clasificación de Unidades Geomorfológicas en la Cuenca del Río Neverí, Venezuela. *Ra'ega* [online] 41. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v41i0>. Acesso: 10 nov. 2019.
- Prates, V.; Souza, L.C.P., Oliveira Junior, J.C., 2012. Índices para a representação da paisagem como apoio para levantamento pedológico em ambiente de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online] 16. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000400011>. Acesso: 03 fev. 2019.
- Ross, J.S., 2012. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. *Revista do Departamento de Geografia* [online] Volume Especial. Disponível: <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0112.0003>. Acesso: 11 jul. 2019.
- Saaty, T. L.; Vargas, L.G., 1991. *Prediction, Projection and Forecasting*, Kluwer, Boston.
- Santos, U. G. et al., 2013. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3 ed. EMBRAPA, Brasília.
- Silveira, C. T., Oka-Fiori C.; Santos L. J. C.; Sirtoli, A. E.; Silva A. 2012. Pedometria apoiada em atributos topográficos com operações de tabulação cruzada por álgebra de mapas. *Revista Brasileira de Geomorfologia* [online] 13. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v13i2.180>. Acesso: 15 jul. 2019.
- Silveira, C. T., Fiori, A. P., Ferreira, A. M., Góis, J. R., Mio, G., Silveira, R. M. P., Massulini, N. E. B., Leonardi, T. M. H., 2013. Emprego de atributos topográficos no mapeamento da susceptibilidade a processos geoambientais na bacia do rio Jacaré/Paraná. *Sociedade & Natureza* [online] 25. Disponível: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/21016>. Acesso: 20 nov. 2019.
- Silveira, C. T., 2010. 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). Curitiba, UFPR.
- Sofia G. 2019. Combining geomorphometry, feature extraction techniques and Earthsurface processes research: The way forward. *Geomorphology* [online] 341. Disponível:

- <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107055>. Acesso: 10 jan. 2019.
- Strapazzon, M. C.; Mello, N. A., 2015. Um convite à reflexão sobre a categoria de unidade de conservação refúgio de vida silvestre. *Ambiente & Sociedade* [online]. 4. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1001V1842015>. Acesso: 02 set. 2019.
- Szymanowski, M., Jancewicz, K., Rózycka M., Migon P., 2019. Geomorphometry-based detection of enhanced erosional signal in polygenetic medium-altitude mountain relief and its tectonic interpretation, the Sudetes (Central Europe). *Geomorphology* [online] 341. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.05.022>. Acesso: 10 jan. 2019.
- Zhang, Y., Slingerland, R., Duffy, C., 2016. Fully-coupled hydrologic processes formodeling landscape evolution. *Environ. Model. Softw.* 82, 89–107. Disponível: <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOF.2016.04.014>. Acesso: 13 fev. 2019.