

Efeitos da fragmentação de habitats sobre comunidades animais: utilização de sistemas de informação geográfica e de métricas de paisagem para seleção de áreas adequadas a testes

Eduardo Périco^{1,2}

Gisele Cemin¹

Daiane Fátima Batista de Lima¹

Claudete Rempel¹

¹Centro Universitário UNIVATES

Rua Avelino Tallini, 171-Caixa Postal 155, CEP-95900-000 – Lajeado-RS, Brasil
{kcemin, limadaia, crempel}@univates.br

²Universidade Luterana do Brasil-ULBRA

Rua Miguel Tostes, 101, CEP-92420-280 Canoas-RS, Brasil
edperico@terra.com.br

Abstract. The habitats' fragmentation is one of the largest threats to global biodiversity. It takes the decrease of population sizes, loss of natural habitats and of genetic variability and, consequently, local populations extinction. The Theory of Island Biogeography, that originated the model proposed for the understanding of the dynamics in forest fragments, has been criticized, therefore nor all the species are equally affected. The discovery that some species are structured in the metapopulations form, that present a dynamic equilibrium based on cycles of extinction-recolonization has been lifting some questions on the basic beginnings of the theory. One of the largest problems to test the hypotheses lifted up by the two proposals is the selection of appropriate areas, that involve fragments with characteristics that allow the comparison among them, such as, size, density, shape, distance, core area, edges and connectives presence. The present work presents a methodology based on geographical information systems and metrics of landscape, for choice of capable areas for evaluation of the fragmentation's effects on natural populations.

Palavras-chave: habitats' fragmentation, remote sensing, landscape analysis, Theory of Island Biogeography; metapopulations, fragmentação de habitats sensoriamento remoto, análise de paisagem, Teoria da Biogeografia de Ilhas, metapopulações.

1. Introdução

O processo de desmatamento em áreas florestais leva a formação de fragmentos isolados que funcionam como "ilhas" de mata cercadas por habitats não florestados. Em algumas situações esse processo de formação dos fragmentos é natural e a zona de transição entre os fragmentos e os habitats não florestados é menos abrupta. Este é o caso dos Campos em Cima da Serra, no Rio Grande do Sul, onde ocorre a formação de isolados de florestas separados por grandes extensões de campos nativos, ou quando ocorre interferência humana, por pastagens.

As conseqüências do processo de fragmentação florestal têm sido intensamente estudadas, principalmente pela biologia da conservação, como forma de tentar prever o tamanho e a forma mais adequados de reservas florestais. O principal referencial teórico é fornecido pela Teoria da Biogeografia de Ilhas de MacArthur e Wilson (1967). Resumidamente, a teoria foi elaborada para prever o número de espécies que uma ilha de determinado tamanho poderá suportar, baseando-se no balanço entre a extinção e imigração. Como os fragmentos de florestas assemelham-se a ilhas, a teoria foi adaptada como uma base que poderá permitir a biólogos conservacionistas prever o número de espécies que um determinado fragmento de floresta pode manter (Gascon *et. al.*,

2001). Logo após a teoria haver sido proposta como uma arma de conservação, houve um intenso debate ressaltando sua importância e significância em prever a riqueza de espécies nos habitats denominados “ilhas” e em explicar os mecanismos responsáveis pelos padrões observados.

Diversas questões foram levantadas com relação à teoria: qual o tamanho mínimo que um fragmento deve ter para conservar sua comunidade? É melhor um grande fragmento ou vários menores? Que distância os fragmentos devem ter entre si para permitirem a movimentação da fauna? Como existem poucos dados referentes ao ambiente antes da fragmentação, fica difícil testar a principal premissa da teoria: se o número de espécies em um habitat ilha será determinado pelo tamanho da ilha e por sua proximidade a um remanescente de ilhas colonizadoras.

Algumas populações naturais podem se estruturar de forma diferenciada, com ciclos de extinções de populações locais e recolonizações. Essas metapopulações são constituídas por um mosaico de populações temporais interconectadas por algum grau de migração entre elas (Hanski *et al.*, 1996; Hansky & Simberloff, 1997). Em algumas espécies todas as populações são de vida curta e a distribuição varia a cada geração. Em outras, a metapopulação se caracteriza por uma ou mais populações nucleares, estáveis em número, e várias populações satélites que flutuam com a chegada dos imigrantes.

Embora muitos pressupostos teóricos são comuns para as duas teorias, algumas diferenças podem ser observadas. Segundo a Teoria da Biogeografia de Ilhas, áreas maiores apresentam maior diversidade que menores, bem como áreas mais próximas de locais que poderiam fornecer migrantes. Segundo a teoria das Metapopulações áreas menores e algumas vezes mais distantes podem apresentar mais diversidade, dependendo da espécie estudada. Além do tamanho da área, fatores como a presença de bordas e a configuração geral da paisagem são importantes.

O processo de fragmentação impõe a criação de uma borda de floresta onde esta não existia anteriormente. Diferente das zonas de ecotonia natural, caracterizadas por um gradiente natural de limites entre dois habitats, a borda consiste em uma quebra abrupta da paisagem, separando um habitat do outro adjacente. A criação da borda pode levar a diversas consequências biológicas, a maioria delas resultado do ressecamento e das alterações microclimáticas na região da borda (Kapos 1989). Estas mudanças, no entanto, não são permanentes e evoluem com o tempo a medida em que a borda se fecha devido ao crescimento da vegetação.

O tamanho e a forma de um fragmento estão intrinsicamente ligados a borda. Quanto menor o fragmento, ou mais alongado, mais fortemente os efeitos de borda podem se fazer sentir, pois diminui a razão interior/margem. A razão entre o interior e margem impõe restrições a manutenção de populações de determinadas espécies, a medida que mexe com fatores espaciais com forte impacto ecológico.

Os efeitos de fragmentação do habitat são controlados por dois processos principais: os efeitos internos nos fragmentos ligados à formação de borda de floresta e a influência externa do habitat matriz na dinâmica do fragmento (Gascon *et al.*, 2001). Este segundo processo inclui interação da paisagem num nível mais amplo de configuração do habitat (porções, matriz e conectividade) (Fahrig & Merriam 1994).

A ecologia de paisagens trabalha com a relação entre padrões espaciais e processos ecológicos, desenvolvendo para isso uma série de “métricas” ou “índices” de paisagem. Esses índices permitem a comparação entre paisagens, a identificação das principais diferenças e a determinação das relações entre os processos funcionais e os padrões das paisagens (Valente e Vettorazzi, 2002). A grande variedade de índices pode ser agrupada em diferentes categorias,

assim existem os índices de área, de densidade, de forma, de borda, de distância, de dispersão e de justaposição, por exemplo.

A configuração de uma paisagem está relacionada a distribuição física dos elementos que a compõem (McGarigal & Marks, 1995), e os índices relacionados contribuem para o entendimento da espacialização dos fragmentos e seus graus de conectividade.

Para haver conectividade entre componentes da paisagem é necessária a presença de corredores ou algum tipo de ligação que seja estruturalmente similar ao hábitat primário, para permitir a movimentação e dispersão entre fragmentos (Harrison 1992). Os poucos estudos existentes sugerem que corredores acentuam de modo significativo o movimento entre manchas em uma paisagem (Haas, 1995), os quais por sua vez podem diminuir a probabilidade de extinção de populações locais.

O aparecimento de barreiras na paisagem modificada pode alterar de modo significativo a dinâmica populacional das espécies sobreviventes. A presença de novos hábitats matriz (por ex. pastagens) pode limitar a dispersão, movimentos e colonização.

A região selecionada apresenta como hábitat matriz campos nativos associados a pastagem. Apesar de ser um ecossistema que evoluiu a fragmentação de forma natural, a ação antrópica na região, através da introdução de culturas agrícolas e pastoreio, acabou modificando a relação de ecotonia natural existente entre os fragmentos florestais e os campos.

A variabilidade de hábitats presentes, combinada com a diversidade de tamanhos, formas, distribuição e graus de conectividade dos fragmentos florestais da região, permitem testar diversos pressupostos básicos relacionados a riqueza de espécies nessas áreas.

A proposta do presente trabalho é utilizar técnicas de sensoriamento remoto e de análise de paisagens para selecionar fragmentos com diferentes características físicas, de distribuição e de conectividade para posterior avaliação da comunidade de fauna e flora presentes, visando propor estratégias de preservação baseadas em parâmetros ecológicos.

2. Metodologia

A área de estudo localiza-se no município de Soledade, RS (28°48'48" e 28°52'10" de latitude sul; 46°24'03" e 46°29'14" de longitude oeste) e está inserida na formação vegetal conhecida como Campos de Cima da Serra. Caracteriza-se por apresentar grandes extensões de campos nativos com fragmentos de mata de araucária. Em algumas áreas a ação antrópica pode ser observada pela substituição do campo por pastagem e lavoura.

Para esta análise foi utilizada uma base de informações envolvendo as cartas planialtimétricas elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG, 1979) em escala 1:50.000, referente a folha SH. 22-V-B-IV-3 de Soledade-E, imagem do satélite ETM⁺/Landsat 7, bandas 3 (vermelho) 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio), da órbita-ponto 222-080, passagem de 04/02/2002, *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) Idrisi 32 (Eastmann, 1998), *software* AutoCAD 2000, *software* de Ecologia de Paisagem Fragstats 3.3 (MacGarigal *et al.*, 2002) e receptor de dados cartográficos GPS – Garmin 12 (Sistema de Posicionamento Global).

A carta planialtimétrica da DSG foi escaneada e georreferenciada para a extração da base cartográfica vetorial referente a rede viária. A rede viária foi sobreposta ao mapa de uso e cobertura do solo, pois é considerada como um fator que pode interromper o fluxo dinâmico de populações de algumas espécies, produzindo efeitos sobre a diversidade biológica local. Esta carta também foi empregada para o registro da imagem de satélite. O processo de

georreferenciamento da imagem consistiu na criação de um arquivo de correspondência, que contém as coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) das cartas DSG e a posição de tela referente a carta e a imagem, referindo-se ao mesmo ponto. Através da função *Resample* foi utilizado o arquivo de correspondência para gerar a imagem georreferenciada das bandas 3, 4 e 5, gerando um erro médio quadrado (RMS) total de aproximadamente 1,03 pixels, o que significa um erro na imagem de aproximadamente 15 metros, considerado estatisticamente aceitável.

O mapa de uso e cobertura do solo foi gerado a partir da classificação não supervisionada, das bandas 3, 4 e 5 pelo módulo *Isoclust*. Foram selecionadas 6 classes de uso e cobertura do solo: mata nativa, campos nativos/pastagens, lavoura, solo exposto, área urbana e água. Após a classificação, para atenuar o efeito da presença de pixels isolados, foi aplicado um filtro de moda 3 x 3.

O mapa de uso e cobertura do solo gerado no SIG Idrisi 32, foi submetido à função *Convert*, convertendo o arquivo de formato raster binário para o formato de arquivo raster ASCII. O arquivo raster ASCII foi analisado através do *software* Fragstats, gerando os índices para análise do grau de fragmentação da unidade de paisagem caracterizada como mata. Ainda com base no mapa de uso e cobertura do solo, foram selecionados 12 fragmentos de mata de acordo com a sua localização espacial, tamanho, forma e possível ligação por corredores. Para cada um dos fragmentos foi gerada uma imagem *booleana*, sendo 0 a área externa ao fragmento e 1 a área do fragmento em estudo. Estes fragmentos de mata também foram convertidos para o formato ASCII e avaliados individualmente pelo *software* Fragstats.

Também foram medidas as distâncias mínimas entre cada um dos doze fragmentos selecionados através da função *Inquiry* presente no *software* AutoCAD. Para tanto, o mapa de uso e cobertura do solo foi reclassificado, gerando uma imagem *booleana*. Em seguida, este mapa raster binário foi convertido para o formato vetorial através da função *PolyVec*. O arquivo vetorial referente aos fragmentos de mata foi exportado no formato DXF e este então, pode ser avaliado pelo *software* AutoCAD.

3. Resultados e Discussão

A **figura 1** apresenta uma visão geral da configuração da paisagem na área selecionada. Na **tabela 1** pode ser observado que a classe Mata representa 16,85% da paisagem, sendo a matriz representada pela classe Campos com 78,20% do total. As demais classes, Lavoura, Açudes e Área Urbana, representam 3,46%, 0,42% e 1,07% do total da paisagem, respectivamente. Essa configuração é típica dos Campos em Cima da Serra, onde a matriz normalmente é constituída pelos campos naturais e/ou pastagens.

A **tabela 2** apresenta as métricas de paisagem obtidas. A área total (TA) é de 5267,47 ha, sendo que 887,91 ha correspondem a área de Mata (CA). Existem 374 fragmentos de mata (NP) com tamanho médio (ÁREA – MN) de 2,3741 ha. A densidade de fragmentos em 100 ha de área (PD) é de 7,1 e a porcentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento (LPI) é de 2,63%. A distância média do vizinho mais próximo (ENN – MN) é de 84m e o índice de forma médio é de 1,33, o que indica uma forma aproximadamente alongada. A parte interna média dos fragmentos, descontada uma borda designada de 20m, ou área média central dos fragmentos (CORE MN) é de 1,64 ha. Pode ser observado que a paisagem apresenta uma grande conectividade visto que a distância média entre os fragmentos é pequena, bem como pode ser observado na imagem (**figura 1**) a presença de corredores naturais.

A **tabela 3** apresenta a distribuição de frequência dos fragmentos por classe de tamanho. Observa-se que 73% deles apresenta menos de 1 ha, e 90, 38% menos de 5 ha, ou seja, a grande maioria dos fragmentos não suportaria uma fauna de mamíferos de médio porte, porém podem funcionar como agentes tamponantes do ecossistema ou, dependendo do grau de conectividade, como corredores ou locais de paradas de organismos em migração.

A **figura 2** apresenta os fragmentos selecionados e a distância entre eles considerando-se os pontos mais próximos entre dois fragmentos. Esses fragmentos apresentam tamanhos e formas variados, bem como diferentes graus de conectividade. A presença de uma matriz bem definida e a ausência de outras classes predominantes de fragmentos, exceto mata, torna essa paisagem adequada para o teste de diferentes hipóteses levantadas pela Teoria da Biogeografia de Ilhas e a Teoria de Metapopulações. A **tabela 4** apresenta as seguintes métricas de classe para os 12 fragmentos selecionados: área (AREA), perímetro (PERIM), núcleo (CORE), área total de borda (TE) e forma (SHAPE). Devido ao estado de conservação da borda dos fragmentos e ao fato da zona de transição entre os fragmentos e a matriz não ser abrupta, a área de borda foi considerada de 20m. As cartas da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG) de 1979 já indicavam a presença desses mesmos fragmentos, bem como da mesma configuração básica da paisagem. Isto permite concluir, com certa segurança, que a área não apresenta uma transição muito abrupta entre a mata e o campo, apesar da diferença entre os dois elementos, visto que os organismos lá estabelecidos já devem estar adaptados a essa zona de transição. Portanto o efeito da borda não deve ser muito forte.

Pela análise da **figura 1**, **figura 2** e **tabela 4**, é possível selecionar diferentes áreas para comparação, a partir do isolamento de diferentes parâmetros. Os fragmentos 1 e 2 apresentam métricas muito semelhantes de área, perímetro e forma, mas o fragmento 1 encontra-se mais isolado que o 2. O fragmento 7 apresenta a maior área, 138 ha, além da proximidade com o fragmento 6, o que permitiria troca de fauna, porém sua forma alongada diminui a razão interior/borda o que pode afetar o estabelecimento de determinadas espécies. O mesmo efeito pode ser testado no fragmento 6. Os fragmentos 4, 8, 9 e 12 apresentam aproximadamente a mesma área, perímetro, núcleo, área de borda e forma, mas em relação a conformação geral da paisagem são diferentes. O fragmento 12 apresenta proximidade do fragmento 10 (21m) e do fragmento 11, que apresenta a segunda maior área (65,74 ha), portanto pode haver troca de fauna entre eles, o que pode ser testado com marcação e recaptura de espécimes. Pela Teoria da Biogeografia de Ilhas o fragmento 11 deveria suportar a maior biodiversidade entre todos os selecionados, pois apresenta uma área grande e uma relação interior/borda pequena, tendendo a circunferência, que seria a forma perfeita. O fragmento 8 está razoavelmente isolado, porém rodeado pelos fragmentos 11, 3, 4 e 6. Entre o fragmento 8 e os demais existem poucas possibilidades de corredores ou conexões (com exceção de uma possível ligação com o 4), sendo o espaço basicamente dominado pela matriz, portanto se houver troca de fauna deve ser de espécimes que conseguem atravessar o campo. O fragmento 4 encontra-se na mesma situação que o 8, portanto é esperado um índice de diversidade específica próximo entre eles. O fragmento 9 apresenta proximidade (504m) do fragmento 7, que é o maior fragmento selecionado, porém não existe nenhuma conexão direta entre eles, exigindo a migração através do campo. O fragmento 10 apresenta uma área de 55,57 ha, porém nessa área está considerada a porção que liga este fragmento ao fragmento 3, talvez funcionando como um corredor. Devido a esta porção o índice de forma (SHAPE) é alto (4,27). Esse trecho é provavelmente muito estreito para manutenção de fauna, pois apresenta baixa razão interior/borda. A fauna do fragmento 3 talvez seja muito semelhante a do fragmento 10, e se isto se confirmar, fica clara a eficiência do corredor

estabelecido entre eles. Por último, o fragmento 5 apresenta uma área de 34,69 ha, próxima a do fragmento 3 (30,82 ha) e índices de forma parecidos 7,40 e 6,70 respectivamente, porém o 5 não apresenta a ligação observada entre o fragmento 3 e o fragmento 10, sendo mais isolado.

As técnicas de sistemas de informação geográfica e de análise de métricas de paisagem são adequadas e constituem-se excelentes ferramentas para análise de problemas em ecologia teórica. A biologia da conservação, em especial, ainda tem muito a avançar com a união dessas ferramentas, que permitem analisar, cruzar, sobrepor e espacializar dados de diferentes origens.

4. Referências Bibliográficas

- DSG (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro). Cartas Topográficas. Porto Alegre: DSG, 1979. Folha: SH. 22-V-B-IV-3 de Soledade-E
- Eastmann, J.R. 1998. **Idrisi for Windows: introdução e exercícios tutoriais**. Editores da versão em português: Henrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre: UFRGS. Centro de Recursos IDRISI.
- Fahrig, L. & Merriam, G. 1994. Conservation of fragmented populations. **Conservation Biology**, **8**: 50-59.
- Gascon, C.; Laurence, W. F. & Lovejoy, T.E. 2001. Fragmentação florestal e biodiversidade na Amazônia Central. In: **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**. Garay, I & Dias, B. (eds.), Editora Vozes, p: 174-189.
- Haas, C.A . 1995. Dispersal and use of corridors by birds in wooded patches on na agricultural landscape. **Conservation Biology**, **9**: 845-854.
- Hansky, I.; Moilanen, A .& Gyllenberg, M. 1996. Minimum viable metapopulation size. **American Naturalist** **147**: 527-541.
- Hansky, I.& Simberloff, D. 1997. The metapopulation approach, its history, conceptual domain and application to conservation. In: **Metapopulation Biology**. Hansky, I.& Simberloff, D (eds.). Academic Press, san Diego, California, p. 5-26.
- Harrison, R.L. 1992. Toward a theory of inter-refuge corridor design. **Conservation Biology**, **6**: 293-295.
- Kapos, V. 1989. Effects os isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, **5**: 173-185.
- MacArthur, R. H. & Wilson, E. O . 1967. **The theory of island biogeography**. Princeton University Press, Princeton.
- McGarigal, K & Marks, B. J. 1995. **FRAGSTATS: spatial patterns analysis program for quantifying landscape structure**. Portland: USDA, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 122p.
- McGarigal, K., S. A. Cushman, M. C. Neel, and E. Ene. 2002. Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. **Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst**. Disponível em: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html
- Valente, R. O .A. & Vettorazzi, C. A. 2002. Análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Florestalis** **62**: 114-129.

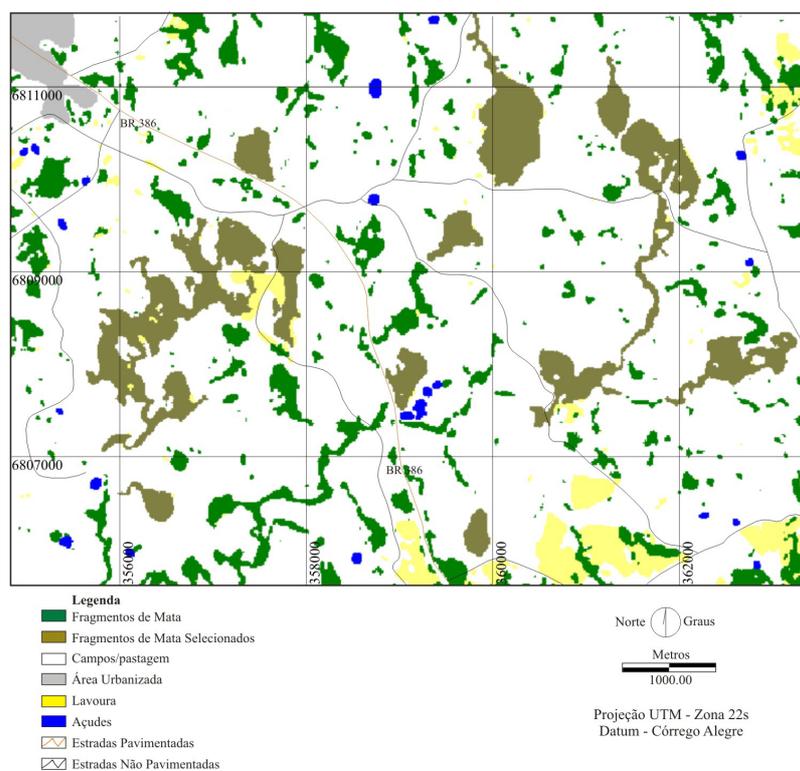


Figura 3: Mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo.

Tabela 1: Dados referentes ao uso e cobertura do solo da área de estudo.

Classe de Uso e Cobertura do Solo	Valor Absoluto (ha)	Valor Relativo (%)
Mata	887,87	16,85
Campos	4119,07	78,20
Lavoura	182,26	3,46
Açudes	21,82	0,42
Área Urbana	56,20	1,07
TOTAL	5267,22	100

Tabela 2: Valores dos parâmetros métricos selecionados para análise da paisagem.

Métricas da Paisagem	Resultado
TA (área total da paisagem – ha)	5267,4750
CA (área de todos os fragmentos da classe analisada – mata -ha)	887,9175
NP (números de fragmentos existem da classe)	374
PD (densidade de fragmentos em 100 ha de área da paisagem)	7,1002
LPI (porcentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento - %)	2,6341
ÁREA - MN (tamanho médio dos fragmentos – ha)	2,3741
SHAPE - MN (índice de forma médio)	1,3365
ENN-MN (distância média do vizinho mais próximo)	84,8874
CORE MN (área média central dos fragmentos – ha)	1,6489

Tabela 3: Distribuição de frequência dos fragmentos da paisagem por classe de tamanho.

Tamanho	Número de fragmentos	%
Menores de 1ha	273	73
De 1 a 5ha	65	17,38
De 5ha a 10ha	16	4,28
De 10ha a 15ha	8	2,14
Acima de 15ha	12	3,20
TOTAL	374	100

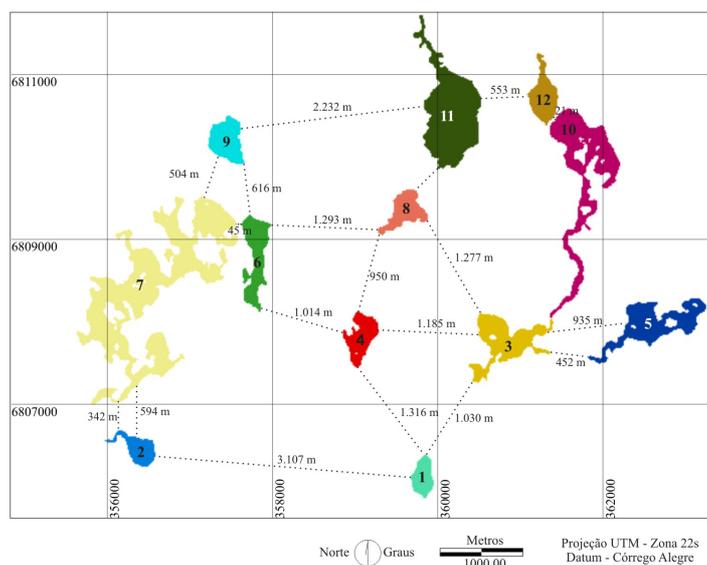


Figura 2: Mapa apresentando os fragmentos selecionados e as principais distâncias entre eles.

Tabela 4: Valores dos parâmetros métricos selecionados para análise dos fragmentos.

Métrica	Frag. 1	Frag. 2	Frag. 3	Frag. 4	Frag. 5	Frag. 6
AREA	10,1025	10,8900	30,8250	15,6600	34,6950	22,2300
PERIM	1620	2340	6330	2820	7080	4200
CORE	8,4375	8,37	24,1200	12,7350	27,2925	17,6850
TE	1,665	2,52	6,705	2,925	7,4025	4,545
SHAPE	1,2558	1,7727	2,8133	1,7736	2,9873	2,2222

Tabela 4: (continuação)

Métrica	Frag. 7	Frag. 8	Frag. 9	Frag. 10	Frag. 11	Frag. 12
AREA	138,8025	15,1200	16,8075	55,5750	65,7450	15,4350
PERIM	27600	2580	2160	12810	6900	2700
CORE	110,5425	12,4200	14,5125	42,1650	58,6575	12,7125
TE	25,26	2,7	2,295	13,41	7,0875	2,7225
SHAPE	5,8228	1,6538	1,3091	4,27	2,1101	1,6981