

## VI-492 - USO DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA TOMADA DE DECISÕES PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS : “APLICAÇÕES DO SISRAD”

**Ryan Kisgley Souza<sup>(1)</sup>**

Discente de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Quixadá. Bolsista de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico do CNPq/IFCE.

**Lucas da Silva<sup>(2)</sup>**

Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Quixadá.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Francisco Eneas de Lima, 1777 A - Centro - Quixadá - CE - CEP: 63900-231 - Brasil - Tel: (88) 9 8182-8821 - e-mail: [ryan.kisgley.souza61@aluno.ifce.edu.br](mailto:ryan.kisgley.souza61@aluno.ifce.edu.br)

### RESUMO

A degradação ambiental gerada por ações antrópicas torna necessária a recuperação das áreas degradadas, de forma a recompor a biota anteriormente existente num dado local. Em função das técnicas disponíveis atualmente para a prática, é de extrema importância o aperfeiçoamento do uso dessas técnicas para dar maior celeridade aos processos de tomada de decisão sobre a melhor forma de recuperação. Assim, podem ser utilizadas técnicas nucleadoras de forma a recompor pequenas áreas em alto grau de degradação, adicionando agentes que retornem a biodiversidade local. Apesar de serem técnicas relevantes, o alto grau de complexidade dos fatores que compõem uma área degradada, tornam a escolha da melhor técnica um desafio, que pode ser superado usando uma sistemática de chaves para tomada de decisão aliadas às tecnologias digitais, que possuem maior velocidade de processamento e armazenamento de dados, para gerar resultados. Com isto, o objetivo da pesquisa foi observar a relevância do aplicativo móvel SISRAD para a recuperação de áreas degradadas usando de técnicas de nucleação selecionadas por chaves de tomada de decisão. A pesquisa pautou-se em estudo de caráter qualitativo, mediante análise de áreas degradadas do município de Solonópole - CE, e que passaram pelo processo da chave de tomada de decisão dentro do aplicativo SISRAD, gerando seus respectivos resultados de recuperação. Os resultados demonstraram que o aplicativo possui grande relevância para a escolha de técnicas nucleadoras de recuperação, e que observa atentamente as características individuais de cada área para gerar seus resultados, contribuindo para a ágil escolha dos métodos de recuperação de áreas degradadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tecnologias digitais; Chave para tomada de decisão; Recuperação de áreas degradadas.

### INTRODUÇÃO

Sendo uma realidade cada vez mais presente no meio ambiente, a degradação de áreas, traz preocupação e a necessidade de práticas de recuperação de áreas degradadas, que se desenvolvem na busca de minimizar os impactos, advindos da ação antrópica (BREDA, et al., 2015). Os efeitos dos impactos ambientais são sentidos por todo o ambiente, degradando principalmente o solo e a biota que essa parcela sustenta.

Acerca das decisões que envolvem a recuperação de uma área degradada, devem ser observados os aspectos e impactos associados a área, embasando-se por métodos como o de chaves para tomada de decisões, que analisam os componentes do processo de degradação para diagnosticar os impactos numa área e propondo sua restauração, através de ações de manejo (LERF ESALQ USP, s.d.).

Segundo Reis et al. (2003), a nucleação para restauração de áreas degradadas, é um princípio eficiente na recomposição da biodiversidade local. Algumas das técnicas nucleadoras conhecidas são descritas como



componentes deste estudo: plantio de mudas nativas, transposição de galhadas, transposição de solo, semeadura direta e poleiros artificiais e naturais.

Considerando as possibilidades que foram apresentadas, através da análise dos dados é possível observar que a chave hierárquica para avaliação das causas de degradação possui relevância e capacidade de sugerir boas ações de manejo para a recuperação de áreas degradadas, como já desenvolvido para meio aquáticos e terrestres (SMA, 2006; SILVA, 2015; LERF ESALQ USP, s.d.).

Paralelamente, destaca-se que as tecnologias digitais são um fator relevante para a recuperação de áreas degradadas. O surgimento dessas tecnologias a partir da Revolução técnico-científica, tem boas aplicações em projetos e práticas já existentes, usando de informatização de processos para a melhoria em tempo e recursos de processos manuais, como o de caracterização através das chaves de escolha (ASSIS; FREITAS; EFING, 2018).

A aplicação mobile SISRAD toma decisões sobre qual método de nucleação para recuperação de áreas degradadas através das chaves de escolha, baseadas nas informações inseridas pelo usuário acerca dos fatores de degradação. Vale ressaltar que o aplicativo recomenda as ações designadas para a melhor recuperação de uma área, porém a escolha de espécies a serem plantadas devem ser observadas através de um estudo fitossociológico sempre respeitando as características ecológicas de desenvolvimento das espécies (LIMA, 2004)

A implementação de tecnologias digitais na recuperação de áreas degradadas, com o auxílio das aplicações do SISRAD, é de extrema importância. O uso dessas tecnologias permite uma abordagem mais precisa e eficiente na identificação e monitoramento de áreas degradadas, possibilitando a tomada de decisões embasadas em dados concretos.

## **OBJETIVO**

Desenvolvimento de um software para uso do sistema de chaves de tomada de decisão, contribuindo para projetos de recuperação de áreas degradadas.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O trabalho em discussão teve como base a análise dos resultados propostos pelo aplicativo móvel SISRAD, desenvolvido no Laboratório de Estudos Ecológicos e Ambientais do Bioma Caatinga, do IFCE Campus Quixadá, que usa das chaves de escolha para recuperação de áreas degradadas aliadas às técnicas nucleadoras, para apresentar resultados sobre as melhores práticas para a recuperação de uma área degradada.

Na fase inicial de desenvolvimento do projeto, foi feita revisão bibliográfica acerca das temáticas relevantes de recuperação de áreas degradadas utilizando chaves de tomada de decisão, tecnologias digitais e técnicas de nucleação para recuperação de áreas degradadas, através de plataformas de pesquisa SciELO e CAPES.

Na fase seguinte de desenvolvimento, o aplicativo foi utilizado no diagnóstico e na obtenção das melhores práticas de recuperação, executando o teste para cada área degradada observada por meio dos parâmetros inseridos no aplicativo sobre solo, composição vegetal da área e fatores de degradação, gerando um diagnóstico feito pelo usuário por intermédio da aplicação.

Finalmente, após coleta de dados, foi feita a tabulação por planilha e a plotagem de um gráfico de aproximação por dispersão, onde foi traçada a curva de distribuição dos resultados.

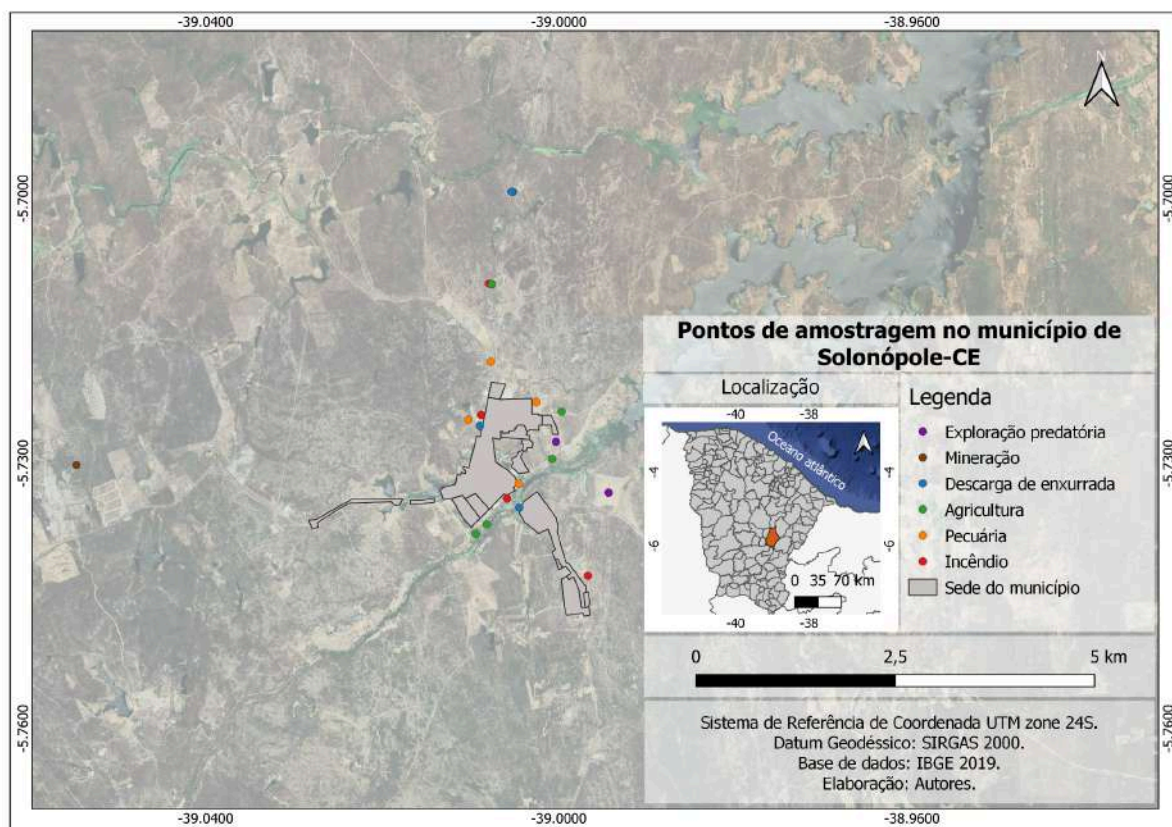
## **ÁREA DE ESTUDO**

A pesquisa foi desenvolvida no município de Solonópole-CE, região do Sertão Central do Ceará, localizada a 275 km de Fortaleza, inserido no bioma brasileiro de Caatinga, prevalecendo alta incidência solar e má distribuição de chuvas, com médias de 800 mm anuais (AB'SABER, 2003), além de solos rasos e geologia

crystalina, o município insere-se dentro da depressão sertaneja (CPRM, 2003). No município, foram coletados os dados de 30 áreas degradadas, conforme mostra a figura 1.

O contexto para seleção do município, deu-se através dos fatores de degradação conhecidos, onde o município possui áreas referentes a todos os fatores analisados no estudo, tendo como atividades essenciais da sua economia a agricultura e pecuária, além de ter um histórico de mineração e grandes jazidas de lítio, ao qual ainda tem grande potencial de exploração (DNPM, 2012).

Para a seleção de áreas, foi considerada a mínima de 1 amostra para cada fator de degradação considerado no aplicativo, observando *in loco* os aspectos de uso e ocupação do solo, tipo de comunidade regenerante na área, o detalhamento do solo e o estado de degradação da área e inserido os dados no aplicativo para obtenção do resultado final.



**Figura 1: área de estudo e pontos amostrais do município de Solonópole - CE.**

### CHAVE DE TOMADA DE DECISÃO

A chave dicotômica, se refere a um método de classificação usado nas Ciências Biológicas, na identificação de espécies vegetais e animais, que tem como base uma série de escolhas de características alternativas (MERRIAM-WEBSTER ONLINE DICTIONARY, s.d.). A técnica surge como uma alternativa relevante para a recuperação ambiental, devido sua praticidade.

Na recuperação de áreas degradadas, o estudo toma como base a chave de recuperação desenvolvida pelo Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal ESALQ-USP (s.d.), que relaciona fatores de diagnóstico às ações de restauração possíveis para uma área através de técnicas de nucleação.



Conforme destacam Yarranton e Morrison (1974), as técnicas nucleadoras são baseadas na ocupação de áreas degradadas por espécies colonizadoras que formam agregados de outras espécies ao seu redor, acelerando o ritmo de colonização. Além disso, a técnica pode relacionar ainda os produtores, consumidores e decompositores da área no processo de sucessão primária que envolve o solo.

Dessa forma, foram considerados cinco métodos de nucleação: plantio de mudas nativas, transposição de galhadas, transposição de solo, semeadura direta e poleiros artificiais ou naturais, visando a recuperação das áreas de estudo sob os aspectos de entrada para a chave de tomada de decisão.

A decisão acerca da melhor técnica a ser usada varia de acordo com os fatores de degradação indicados por incêndio, pecuária, agricultura, descarga de enxurrada, mineração ou exploração predatória. Os fatores de degradação são interligados aos componentes da área sobre solo, vegetação e degradação da área, a fim de gerar o diagnóstico final. Na figura 2 é apresentado o fluxograma da chave de escolha.

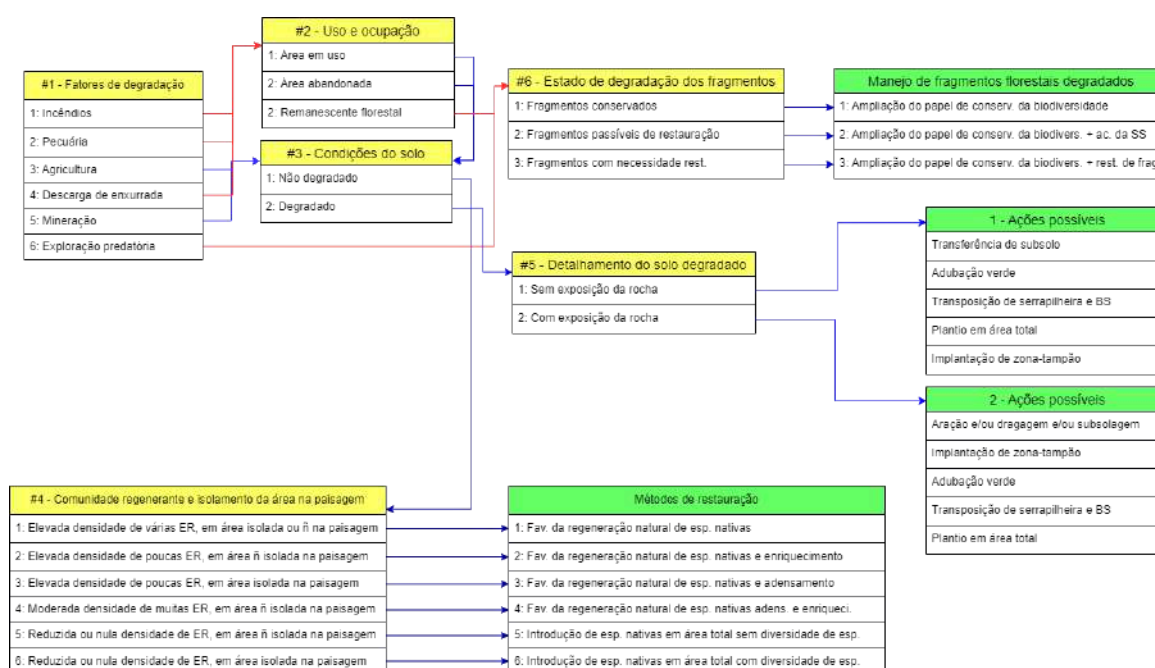


Figura 2: Fluxograma da chave de escolha.

## APLICATIVO SISRAD

No aplicativo é possível criar projetos, cadastrar dados de localização e área das regiões de estudo, cadastrar o responsável técnico pelo projeto e o proprietário da área degradada, além de permitir o preenchimento do questionário para chave de identificação, conforme os parâmetros e fatores de degradação.

Ao fim do processamento dos dados e obtenção das técnicas nucleadoras relevantes para a recuperação da área, o aplicativo gera um relatório com todos os dados da área e resultados, além de apresentar um glossário sobre os temas abordados, e informações sobre o app e seu desenvolvimento. Na figura 3 podem ser observadas as telas do aplicativo e seu layout simples e de fácil acesso.



Figura 3: Telas do aplicativo móvel SISRAD.

## RESULTADOS OBTIDOS

Com base no levantamento feito em 20 localidades, com um fator de degradação para cada área escolhida. Foram analisadas 4 áreas para incêndio, 4 áreas para pecuária, 5 áreas para agricultura, 4 áreas de descarga de enxurrada, 1 área de mineração e 2 áreas de exploração predatória.

Para incêndio, 50% das amostras foram em áreas abandonadas, enquanto 50% em áreas de remanescente florestal, sendo recomendado para o primeiro caso a introdução de espécies nativas em área total com diversidade de espécies. No segundo caso observado foram consideradas ainda a exposição da rocha no solo degradado em uma amostra, resultando em Ações possíveis - 1, com adubação do solo e transposição de solo, na última amostra foi recomendada a ampliação do papel de conservação da biodiversidade e restauração de fragmentos isolados de vegetação.

No fator pecuária todas as áreas apresentaram fatores de degradação semelhantes, 3 (75%) estavam em uso, como solo degradado e sem exposição a rocha, foram recomendadas as Ações possíveis - 2, incluindo aração, adubação, plantio e implantação de zona-tampão. Apenas 1 amostra (25%) apresentou degradação com exposição de rocha, encaminhando o resultado para a aba de Ações possíveis - 1, que tem como adição às demais ações possíveis a prática de transferência de solo.

Para o fator de degradação agrícola, 3 amostras (60%) possuíam solo degradado sem exposição a rocha e tiveram como resultado a aba de Ações possíveis - 1. Em seguida, 2 áreas (40%) apresentaram solo não degradado, sendo necessária a análise de espécies vegetais presentes na área. Em uma área foram encontradas espécies regenerantes, recomendando o favorecimento da regeneração natural de espécies nativas além de adensamento e enriquecimento. Por fim, a última área apresentou baixa densidade de espécies regenerantes, sendo recomendada a introdução de espécies nativas em área total sem necessidade de diversidade de espécies.

Para a descarga de enxurrada, 50% das áreas observadas (2 áreas) estavam abandonadas, com solo degradado, onde 1 apresentou exposição a rocha, encaminhando para a aba de Ações possíveis - 1, enquanto a outra área, sem exposição de rocha, resultou na aba de Ações possíveis - 2. Para este fator, foram também encontradas 2 áreas de remanescente florestal (50%), enquanto uma apresentava baixa densidade de espécies necessitando da introdução de espécies nativas na área total e sem necessidade de diversidade de espécies; para a outra área analisada foi descrita a conservação da biodiversidade por apresentar fragmentos passíveis de restauração, gerando resultado da ampliação do papel de conservação da biodiversidade.

Para a mineração foi observada uma área, com solo degradado com exposição da rocha mãe e foi recomendado o quadro de Ações possíveis - 1, que inclui transferência de subsolo, adubação verde, implantação de zona-tampão, plantio em área total e transposição de serapilheira como técnicas a serem desenvolvidas na recuperação.

Na seleção dos fatores de exploração predatória, foram analisadas 2 áreas, sendo ambas com fragmentos possíveis de restauração e gerando o mesmo resultado, de ampliação da conservação da biodiversidade na zona.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

A distribuição de resultados após tabulação foi aproximada por um gráfico de dispersão e uma linha de tendência do tipo polinomial, conforme mostra a figura 4, demonstrando o maior número de usos das respostas “ações possíveis 1 e 2”, pelo aplicativo. As duas abas possuem cinco opções, cada uma, para a correção de áreas degradadas através de técnicas de nucleação.

As ações possíveis mostram a eficácia de recomendação para diferentes casos com situações menos restritivas e específicas que outras. A recomendação da aba é feita, a variar pelo estágio de degradação do solo e presença de espécies e fragmentos de vegetação, acelerando o processo de escolha da melhor técnica a seguir, e apresentando um leque de opções para recuperação.

Dessa forma, existindo situações com maior nível de complexidade, como o caso da seleção de fatores de diversidade de espécies, são aplicadas medidas mais específicas, como é apresentado no aplicativo e foi observado em alguns casos de degradação por incêndio, agricultura, descarga de enxurrada e exploração predatória. Ainda na análise do fator incêndio, a última amostra, com remanescente florestal, obteve resposta na recomendação da conservação da biota existente e restauração de fragmentos, dado o nível mais baixo de degradação da área, em comparação aos outros.

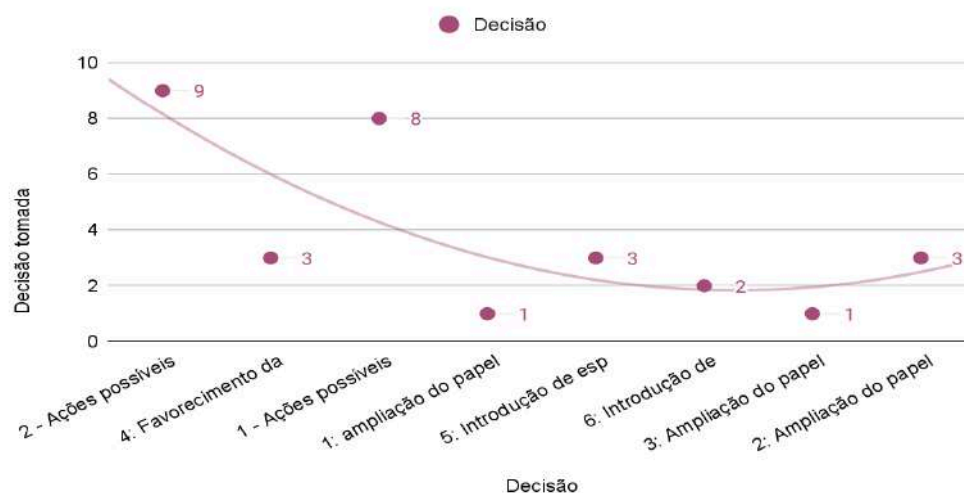


Figura 4: Decisões tomadas para diferentes fatores de degradação.



## CONCLUSÕES

Acerca dos dados observados, conclui-se a relevância do aplicativo SISRAD para recuperação de áreas degradadas através da tomada de decisão. O uso de parâmetros que agilizam as escolhas desse campo, são importantes para os processos de recuperação de áreas degradadas, visando a gestão de tempo, e a facilidade de escolha para recuperação.

Além disso, ao integrar informações geoespaciais, ambientais e de uso do solo, as tecnologias digitais facilitam o planejamento e execução de ações de recuperação, otimizando recursos e minimizando impactos negativos. Dessa forma, a implementação dessas tecnologias contribui para uma abordagem mais sustentável e eficaz na recuperação de áreas degradadas, promovendo a conservação ambiental e a melhoria da qualidade dos ecossistemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AB'SABER, A. N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
2. BECHARA, F.C. Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica através de Técnicas Nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga. Dissertação (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
3. BRENDA, A. M. M. et al. Plano de Recuperação de Áreas Degradadas: manejo agroecológico da irrigação e uso de águas residuárias. *In*: SOUZA, M. N. Tópicos em recuperação de áreas degradadas - V II - Avaliação de Impactos Ambientais: conceitos e metodologias. Canoas: Mérida Publishers, 2021. p. 303 - 323.
4. CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará. Fortaleza: 142 p., 2003.
5. DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral). Estudo dos Pegmatitos Litíferos da região de Solonópole - CE. Fortaleza: 63 p., 2012.
6. LERF-ESALQ-USP (Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo). s.d. Chave para escolha de métodos de restauração florestal. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/imag/aulas/Chave%20trabalho%20restauracao.pdf>> Acesso em: nov. 2023.
7. LIMA, P. C. F. Áreas degradadas: métodos de recuperação no semiárido brasileiro. XXVII Reunião Nordestina de Botânica. Petrolina, 2004.
8. MARTINS, S. V. Recuperação de área degradada. Viçosa/MG: Aprenda Fácil, 2009.
9. MERRIAM-WEBSTER ONLINE DICTIONARY. Disponível em: <<http://www.merriam-webster.com/dictionary/suggestions/dichotomous+key%29>>. Acesso em: 21 de maio de 2024.
10. REIS, A.; BECHARA, F. C.; ESPINDOLA, M. B.; VIEIRA, N. K.; LOPES, L. Restoration of damaged land areas: using nucleation to improve successional processes. *Natureza & Conservação*, v.1, 2003.
11. RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L.; SILVA, J. C. S. Recuperação da vegetação de matas de galeria: estudo de caso no Distrito Federal e entorno. (Ed.) Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria. Planaltina: Embrapa Cerrados, p.815-870, 2001.
12. SMA (Secretaria Estadual de Meio Ambiente de São Paulo). Chave para tomada de decisão Recuperação de Áreas Degradadas. Workshop sobre Recuperação de Áreas Degradadas em Matas Ciliares, São Paulo-SP. Disponível em: <[http://botanica.sp.gov.br/files/2014/02/cerad\\_chave\\_tomada\\_decisao\\_RAD.pdf](http://botanica.sp.gov.br/files/2014/02/cerad_chave_tomada_decisao_RAD.pdf)>. Acesso em: dez. de 2023.
13. TRES, D. R.; SANT'ANNA, C. S.; BASSO, S.; LANGA, R.; RIBAS Jr. U.; REIS, A. Banco e Chuva de Sementes como Indicadores para a Restauração Ecológica de Matas Ciliares. *Revista Brasileira de Biociências*, v.5, 2007.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL



14. YARRANTON, G. A.; R. G. MORRISON. 1974. Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. *Journal of ecology* 62(2): 417-428.