

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Restaurando o *campus*: envolvendo alunos e plantando árvores para a  
transformação ambiental da ESALQ/USP**

**Táisi Bech Sorrini**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais.  
Opção em: Conservação de Ecossistemas Florestais

**Piracicaba  
2022**

**Taísi Bech Sorrini**  
**Engenheira Agrônoma**

**Restaurando o *campus*: envolvendo alunos e plantando árvores para a transformação ambiental da ESALQ/USP**

Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **PEDRO HENRIQUE SANTIN BRANCALION**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Conservação de Ecossistemas Florestais

**Piracicaba**  
**2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Sorrini, Taísi Bech

Restaurando o campus: envolvendo alunos e plantando árvores para a transformação ambiental da ESALQ/USP / Taísi Bech Sorrini. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

63 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Regularização ambiental 2. Restauração ecológica 3. Avaliação 4. Indicadores 5. Sensoriamento remoto I. Título

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho especialmente à minha família, pelo apoio e confiança demonstrados,

Ao meu pai Edvaldo, aquele me inspirou o amor pelo meio ambiente, meu maior estimulador e meu grande exemplo de competência profissional.

À minha mãe Regina, mulher forte e amiga que muito me incentivou e assistiu nesta longa caminhada, cujo amor a mim dedicado é meu alimento e amparo, sendo sempre meu porto seguro.

Ao meu avô Alcides (*in memoriam*), que com seu sorriso doce e seus conselhos preciosos me guiou para os melhores caminhos e intercedeu para que eu tivesse sucesso em minha jornada de estudos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Pai Celestial, que em todos os momentos foi a minha base e o meu guia. Sem Deus, nada disso seria possível.

Aos meus pais, Edvaldo e Regina, meus maiores exemplos de dignidade, generosidade e luta, pela paciência, amor e apoio incondicionais ao longo deste processo, e pelo investimento na minha formação pessoal e profissional. Essa conquista é nossa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro H. S. Brancalion, pelos valiosos ensinamentos e dedicação. Sou grata pela confiança, pelo cuidado e, sobretudo, pela paciência em todos os momentos, imprescindíveis para a realização deste trabalho. Admiro seu entusiasmo e contribuição à nossa profissão.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Joannès Guillemot, que de forma solícita se dedicou a me ajudar durante o processo de realização deste trabalho repartindo comigo os seus conhecimentos estatísticos.

Ao Prof. Dr. Ricardo Ribeiro Rodrigues, pela assistência prestada, pela paciência, pelas oportunidades, pela disponibilidade de tempo, pelo incentivo e por compartilhar de seus conhecimentos de maneira generosa e carinhosa.

À Giovana Maria de Oliveira e Msc. Maria Andréia Moreno, que foram anjos da guarda em cada etapa desse processo desafiador. Minha infinita gratidão pelos inúmeros conselhos, pela incansável força e pelas palavras de conforto.

Ao Gabriel, que trouxe leveza, confiança e motivação. Agradeço pela parceria e amor compartilhados ao longo desses meses.

À Ana Maria Oliveira, Karen Beneton, João Vitor Fabri e demais bolsistas de Treinamento Técnico do Projeto NewFor, que foram fundamentais para a construção desse trabalho. Assim como, os dedicados estagiários, em especial Bruno Guastala, Douglas Valentim, Guilherme Melman e Matheus Fuza. Sou grata pelo imprescindível auxílio nas coletas de campo e processamento dos dados.

Aos Drs. Jefferson Lordello Polizel e João Carlos Teixeira Mendes, pelo grande suporte e direcionamento para a realização deste trabalho. Assim como, ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, pelo fornecimento de informações e disponibilização de material técnico para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Grupo de Adequação Ambiental (GADE/ESALQ/USP), pela ajuda nas atividades de campo e constante solicitude. Bem como, ao Grupo Florestal Monte Olimpo pela concessão de dados importantes para a finalização desse Mestrado.

Ao Departamento de Zootecnia (LZT/ESALQ/USP), em especial ao Murillo Meschiatti, pela ajuda e disponibilidade para acesso e compreensão das bases de dados cruciais para elaboração desse trabalho.

Aos Pós-docs. Angélica Resende, Catherine Torres, Danilo Almeida e Ricardo César pela enorme ajuda, orientação, paciência e dedicação no processamento e análises geoespaciais.

À Msc. Vanessa Sontag, pela produção das figuras.

À Msc. Laura Simões, pelo fundamental suporte, paciência e empenho na construção dos mapas.

Aos meus grandes e leais amigos do Laboratório de Silvicultura Tropical (LASTROP/ESALQ/USP) e do Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (LERF/ESALQ/USP), pela convivência, cumplicidade, dificuldades divididas e aprendizado conjunto. Um abraço especial ao Alex Mendes, Anani Zanini, Ana Maria Oliveira, Isabela Waga, Laura Simões, Lukas Rodrigues, Marcelo Ambrosano (anexo, rs!), Thaís Diniz e Vitória Derisso.

Aos meus familiares e colegas, que dividiram da minha caminhada e que participaram direta ou indiretamente da construção e realização desse Mestrado. São muitas pessoas especiais. E não gostaria de correr o risco em parecer injusta citando nominalmente todas elas.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em especial ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade concedida para o aprimoramento de meus conhecimentos e engrandecimento profissional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), em especial ao Projeto NewFor (Processo n° 2018/18416-2), pelo suporte financeiro com as logísticas de campo, aquisição de materiais e recursos humanos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Processo CAPES n° 88887.334399/2019-00), pela bolsa concedida durante a vigência do Mestrado.

À todas e todos, meus sinceros e profundos agradecimentos!

*“Todo dia de ontem pode ter sido árduo. Muitas lutas vieram, deixando-te o cansaço. Provas inesperadas alteram-te os planos. Soma, porém, as bênçãos que Deus te entregou. Esquece qualquer sombra, não pares, serve e segue. Agora é novo dia, tempo de caminhar.”*  
(Emmanuel – Chico Xavier)

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
2.1. Área de estudo .....	15
2.2. Histórico do Programa de Adequação Ambiental do <i>campus</i> “Luiz de Queiroz” .....	16
2.3. Benefícios ambientais.....	17
2.4. Benefícios socioeconômicos .....	23
3. RESULTADOS .....	25
3.1. Benefícios ambientais.....	25
3.2. Benefícios socioeconômicos .....	31
4. DISCUSSÃO.....	33
4.1. Benefícios ambientais.....	33
4.3. Benefícios socioeconômicos .....	38
5. CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS .....	43
ANEXO .....	59



## RESUMO

### **Restaurando o *campus*: envolvendo alunos e plantando árvores para a transformação ambiental da ESALQ/USP**

A mudança no uso da terra alterou as paisagens naturais nos trópicos, reduzindo a cobertura florestal e comprometendo os serviços ambientais. Na tentativa de recuperar áreas degradadas e cumprir a legislação ambiental, projetos de adequação ambiental tornaram-se instrumentos fundamentais para compatibilizar a conservação dos recursos naturais e a produção agropecuária. Desse modo, a formação qualificada de profissionais e a avaliação dos aspectos ecológicos e socioeconômicos dessas paisagens garantem múltiplos benefícios aos locais restaurados e ao seu entorno. Neste contexto, esta pesquisa monitorou os benefícios ecológicos, produtivos e educacionais associados ao Programa de Adequação Ambiental (PAA) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo. Para isso, realizamos as seguintes avaliações, com base nas fases pré e pós adequação ambiental do *campus* da ESALQ/USP com base na implementação de ações para o cumprimento do Código Florestal de 1965: i. mudança da cobertura florestal nativa total e em Áreas de Preservação Permanente (APPs); ii. variação do déficit de floresta nativa em APPs; iii. estocagem e balanço de carbono nos reflorestamentos; iv. infiltração de água nos solos das restaurações florestais e usos agropecuários; v. oscilação da produtividade pecuária; e vi. quantificação da participação de alunos em atividades de ensino e extensão nos reflorestamentos. Verificamos que o PAA, motivou o aumento de 91% da cobertura florestal nativa na área de estudo, zerando o déficit de vegetação em APPs. Os plantios de restauração propiciaram a neutralização anual média de 7,6% das emissões totais de CO<sub>2</sub> do *campus* e a recuperação dos processos hidrológicos por meio da infiltração mais eficiente de água no solo em comparação com os usos agropecuários. Esses reflorestamentos não implicaram em perdas de produção pecuária, uma vez que o rebanho bovino aumentou em média 78% no período. Adicionalmente, as ações de restauração promoveram atividades de pesquisa e extensão para 272 discentes, e contribuíram para o ensino de 290 alunos de graduação por ano. Portanto, o Plano de Adequação Ambiental do *campus* “Luiz de Queiroz”, resgatou a multifuncionalidade das paisagens florestais mediante a recuperação da cobertura florestal nativa, reabilitação de serviços ecossistêmicos, produção agropecuária e formação técnico-científica do seu corpo discente. No entanto, destacamos a necessidade de monitoramento constante do desenvolvimento das florestas em restauração, visando a adoção de ações corretivas para salvaguardar sua sustentabilidade ecológica.

Palavras-chave: Regularização ambiental, Restauração ecológica, Avaliação, Indicadores, Sensoriamento remoto

## ABSTRACT

### **Restoring the campus: engaging students and planting trees for the environmental transformation of ESALQ/USP**

The change in land use has altered the natural landscapes in the tropics, reducing forest cover and compromising environmental services. In an attempt to recover degraded areas and comply with environmental legislation, environmental adequacy projects have become fundamental instruments to make the conservation of natural resources and agricultural production compatible. Thus, the qualified training of professionals and the evaluation of the ecological and socioeconomic aspects of these landscapes guarantee multiple benefits to the restored sites and their surroundings. In this context, this research monitored the ecological, productive, and educational benefits associated with the Environmental Adequacy Program (PAA) of the "Luiz de Queiroz" College of Agriculture, University of São Paulo. To this end, we conducted the following assessments, based on the pre- and post-environmental adequacy phases of the ESALQ/USP campus based on the implementation of actions to comply with the 1965 Forest Code: i. change in total native forest cover and in Permanent Preservation Areas (APPs); ii. variation of the native forest deficit in APPs; iii. carbon storage and balance in reforestations; iv. water infiltration in forest restoration soils and agricultural uses; v. oscillation of livestock productivity; and vi. quantification of student participation in teaching and extension activities in reforestations. We verified that the PAA, motivated the increase of 91% of native forest cover in the study area, zeroing the deficit of vegetation in APPs. The restoration plantings provided an average annual neutralization of 7.6% of the total CO<sub>2</sub> emissions of the campus and the recovery of hydrological processes through more efficient infiltration of water into the soil in comparison with agricultural uses. These reforestations did not imply losses in livestock production, since the cattle herd increased by an average of 78% in the period. Additionally, the restoration actions promoted research and extension activities for 272 students, and contributed to the teaching of 290 undergraduate students per year. Therefore, the Environmental Adequacy Plan of the "Luiz de Queiroz" campus has rescued the multifunctionality of forest landscapes through the recovery of native forest cover, rehabilitation of ecosystem services, agricultural production and technical and scientific training of its student body. However, we highlight the need for constant monitoring of the development of forests under restoration, aiming at the adoption of corrective actions to safeguard their ecological sustainability.

**Keywords:** Environmental compliance, Ecological restoration, Ecological Assessment, Ecological Indicators, Remote sensing



## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a fim de atender a demanda crescente da população por alimentos e fibras, a intensa expansão da fronteira agropecuária culminou na redução da cobertura vegetal nativa em todo o mundo, principalmente nas regiões tropicais (HANSEN et al., 2013; LAURANCE, SAYER e CASSMAN et al. 2014; GARRETT et al., 2018). Frente a isso, grande parte dos países situados nos trópicos apresenta menos de 5% de suas florestas remanescentes protegidas, sendo que no restante de seus territórios esses ecossistemas já foram amplamente degradados (BAUDRON e GILLER, 2014). Em virtude desse histórico, o processo de mudança no uso do solo alterou drasticamente as paisagens naturais, transformando-as em áreas profundamente pressionadas, fragmentadas, isoladas e perturbadas (ACHARD et al., 2002; JOLY, METZGER e TABARELLI, 2014; MATRICARDI et al.; 2020). Conseqüentemente, esse processo de expansão da fronteira agrícola tem afetado diretamente os ecossistemas mais biodiversos e ricos em carbono do mundo (METZGER et al., 2006; BONAN, 2008; LE QUÉRÉ et al., 2014; PENDRILL et al., 2019).

Uma crescente demanda da agricultura moderna é compatibilizar as atividades produtivas com a preservação ambiental, mas a principal indagação é a maneira como esse objetivo pode ser eficientemente alcançado (STRASSBURG et al., 2014; LATAWIEC et al., 2015). As academias de ciências agropecuárias formam anualmente milhares de profissionais que irão decidir como a agricultura do futuro será conduzida e como os ecossistemas nativos serão afetados, podendo assim serem o ponto de partida para a mudança, para o estabelecimento de novos paradigmas que nortearão a tomada de decisão no meio rural. Em muitas regiões tropicais, no entanto, somente proteger os remanescentes de vegetação nativa não é o bastante para assegurar a viabilidade ecológica de paisagens naturais em matrizes produtivas, já que a cobertura florestal remanescente é insuficiente para a conservação da biodiversidade e a provisão de serviços ambientais essenciais para a sociedade (POSSINGHAM, BODE e KLEIN, 2015; VIANI et al., 2015; BURNETT et al., 2019). A agropecuária, além de atender a demanda por alimentos, fibras e energia; também pode auxiliar na restauração da multifuncionalidade dos ecossistemas nativos (KIERS et al., 2008; BENAYAS e BULLOCK, 2012; CHAZDON, 2019).

A recuperação de paisagens degradadas por meio de iniciativas de restauração ecológica é uma obrigatoriedade em propriedades rurais no Brasil – um dos maiores polos agropecuários mundiais – quando a área ocupada por vegetação nativa é inferior ao exigido pela legislação ambiental vigente no país (RODRIGUES et al., 2011; ROTHER et al., 2018).

No entanto, o cumprimento dessa lei tem sido um grande desafio, principalmente no que diz respeito à insegurança quanto a viabilidade econômica das propriedades rurais, uma vez que requer a adoção de novas abordagens de planejamento de uso e ocupação do solo (SMITH et al., 2013; BRANCALION et al., 2016; NIEMEYER et al., 2020). No contexto global, iniciativas como o Bonn Challenge, que propõe restaurar 350 milhões de hectares de áreas degradadas pelo mundo até 2030, e a Década da Restauração de Ecossistemas da ONU (2021-2030), devem fomentar as ações de restauração ecológica em paisagens de baixa aptidão agrícola, impulsionando a sustentabilidade dos ecossistemas naturais e das atividades humanas nas regiões tropicais (TEMPERTON et al., 2019; EDRISI e ABHILASH, 2021). Esses esforços promovem a recuperação em ampla escala e possibilitam o uso de instrumentos econômicos, como a certificação em propriedades rurais e o ganho de valor de mercado, e incentivam a geração de políticas públicas, tecnologias e o estímulo à formação de novos profissionais. (BRANCALION et al., 2010; BRANCALION et al. 2012; NEWTON, ALVES-PINTO e PINTO; 2015).

Os responsáveis técnicos pelas ações de restauração ecológica possuem um papel importante no cumprimento das metas globais e na compatibilização da produção agropecuária e restauração de ecossistemas (SLAVIK, 2004; SCHLINDWEIN, 2007; MAFRA, 2015). Afinal, são eles que planejam, implementam, gerenciam e monitoram os projetos executivos relacionados ao uso e ocupação do solo em propriedades rurais. Em países como o Brasil, onde a atividade agropecuária corresponde a 21,4% do PIB nacional, a formação dos profissionais em ciências agrárias deve ser respaldada, principalmente, no esforço de aumentar a produção agrícola, em termos espaciais e de produtividade, mas com sustentabilidade ambiental (ALMEIDA, 2003; GLIESSMAN, 2009; CEPEA, 2019). Tais profissionais devem se tornar protagonistas ao longo de toda cadeia produtiva, geradores de conhecimentos científicos e desenvolvedores de políticas públicas, indispensáveis no atendimento da demanda atual de alimentos, fibras e energia (COOPER e EVANS; 2005; SONCINI, PIERINI e GALLO, 2016). Isto requer extrapolar os limites disciplinares em busca da integração de conhecimentos teórico-práticos no âmbito ambiental, operacional e socioeconômico para desenvolver e estabelecer ações bem-sucedidas de restauração florestal em harmonia com os sistemas produtivos (RODRIGUES, BRANCALION e GANDOLFI, 2015). Assim, as escolas de Agronomia precisam investir na capacitação qualificada e no treinamento desses profissionais em formação, a fim de balancear as necessidades de conservação e produção, encorajando, por exemplo, as ações de restauração florestal em larga escala, de modo que atividades agrícolas progridam no meio rural em concordância com o

bem-estar da sociedade e conservação ambiental (TAYLOR e MULHALL, 2001; DUTRA et al., 2016; TELOCKEN e TRINDADE, 2017).

Essa ótica integrativa entre os parâmetros ecológicos, produtivos e sociais, amplamente difundida nas escolas de Agronomia, viabilizou as iniciativas de restauração florestal em larga escala em áreas degradadas no meio rural (SHACKELFORD et al., 2013; MELI et al.; 2017; SAPKOTA, STAHL e RIJAL, 2018; GANN et al., 2019) e possibilitou maior efetividade das ações de recuperação ambiental e de autoperpetuação nesses locais (VIANI et al., 2017; COSTA, 2019). Contudo, gerou-se a necessidade eminente de avaliação periódica dessas áreas em restauração, a fim de garantir que sigam uma trajetória ecológica aceitável e que apresentem os processos estruturais e funcionais desejáveis para se manterem sustentáveis ao longo do tempo (BELLOTO et al., 2009; RODRIGUES, BRANCALION e GANDOLFI, 2015), bem como possam promover desenvolvimento socioeconômico, por meio da capacitação técnica qualificada e da produção agropecuária de alto desempenho (FISCHER et al. 2010; LE et al., 2012; ERBAUGH e OLDEKOP et al., 2018). Tal perspectiva desmistifica, assim, o paradigma de possível conflito entre a conservação e a agricultura. Monitorar indicadores ecológicos, sociais e financeiros que determinam o êxito das florestas restauradas em regiões tropicais compõe um alicerce sólido para o desenvolvimento de projetos bem-sucedidos de reflorestamento de longo prazo que sejam benéficos ao homem, ao planeta e aos sistemas produtivos (CHAZDON et al., 2013).

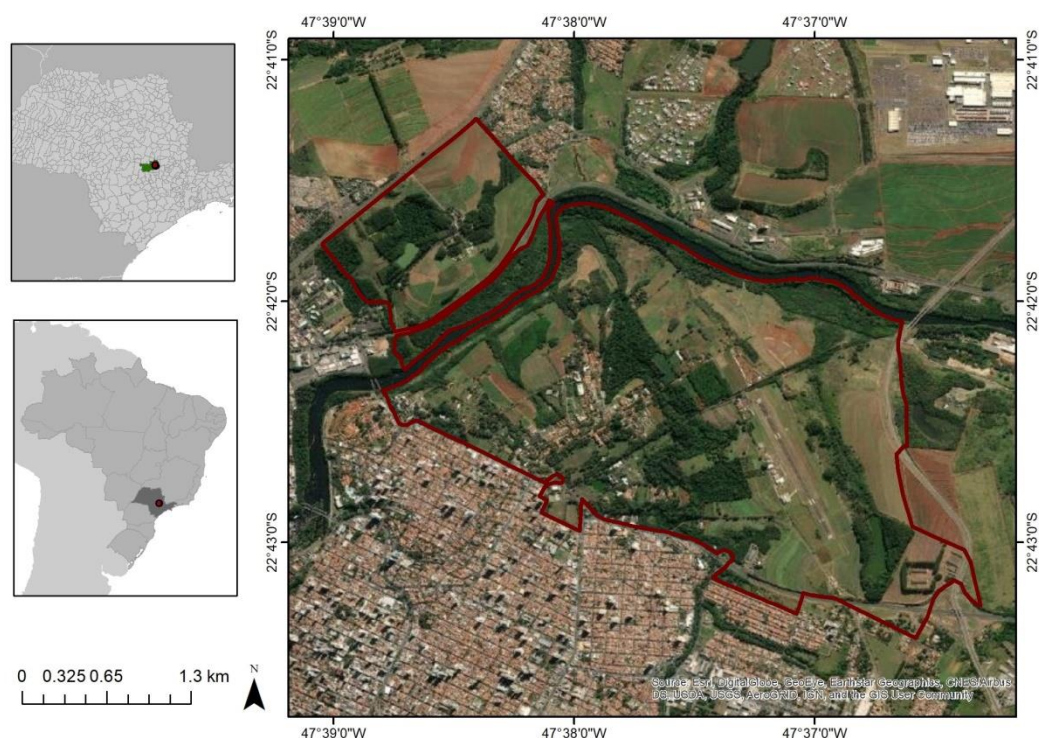
Diante desse panorama, atualmente, a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ocupa a primeira colocação entre as instituições de agrárias mais conceituadas da América Latina (NTU RANKING, 2021). Apesar do seu reconhecimento e prestígio internacionais, ao longo da sua história, a ocupação e a utilização do solo do *campus* foram pouco planejadas, pelo menos de acordo com os critérios ambientais (COOPER et al., 2009), o que de certa forma espelhava o uso e ocupação do solo no restante do país. Desse modo, uma experiência única promovida pelo Plano de Adequação Ambiental do *campus* “Luiz de Queiroz”, permitiu a regularização ambiental, por meio de iniciativas envolvendo reflorestamentos com espécies nativas, e atuação na formação profissional e acadêmica de discentes responsáveis por aliar, de maneira justa, humana e eficiente; a produção agropecuária e a conservação ambiental (COOPER et al., 2009). Logo, avaliar a restauração florestal em paisagens antropizadas é de extrema importância para embasar estudos sobre o desenvolvimento das comunidades implantadas e dos seus processos ecológicos, bem como as suas contribuições para sociedade e economia local.

Portanto, diante da excelência da ESALQ/USP, reconhecida nacionalmente e internacionalmente, por meio da formação qualificada de profissionais atuantes nos setores do agronegócio e sustentabilidade, o presente estudo buscou avaliar os benefícios ecológicos e socioeconômicos que se estabeleceram a partir do Programa de Adequação Ambiental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, a fim de efetivar a instituição na vanguarda da consonância de valores ambientais, econômicos e sociais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

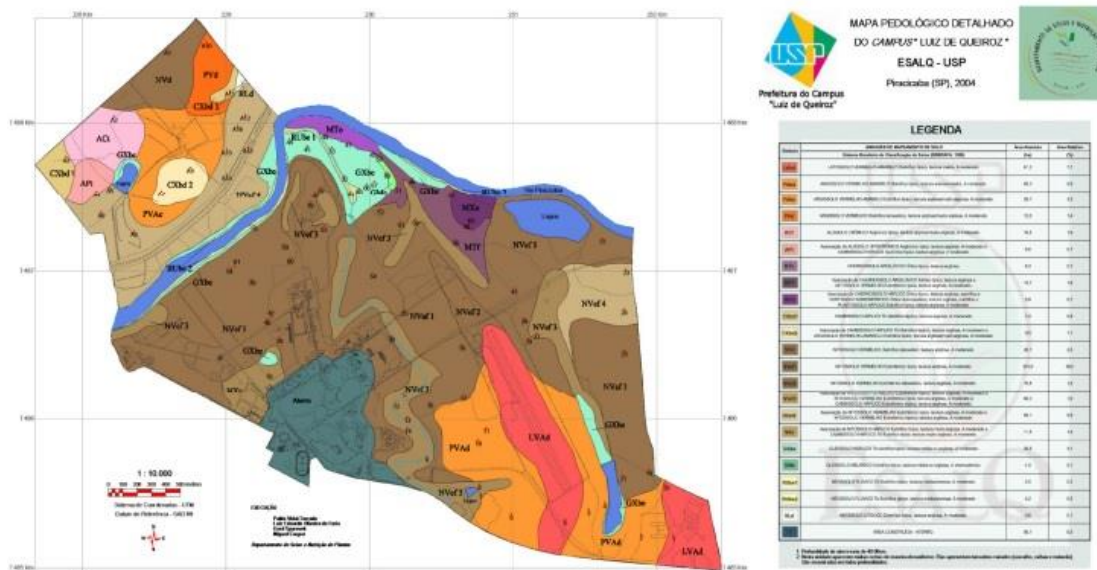
Localiza-se no município de Piracicaba, São Paulo - Brasil ( $22^{\circ}42' 30''$  S,  $47^{\circ}38' 30''$  W), no *campus* da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, incluindo a Fazenda Areão (Figura 1). O período de estudo se compreende entre os anos de 2005 e 2020, do início à conclusão da implantação de áreas de restauração florestal, respectivamente.



**Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP, com destaque para a delimitação do *campus* da ESALQ/USP (Fonte: Google Earth, 2021).

O *campus* “Luiz de Queiroz” situa-se na zona urbana do município de Piracicaba e possui área total de 807,44 hectares. O clima da cidade é caracterizado como tropical de altitude, do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, possuindo verões quentes e chuvosos e invernos amenos e secos. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018) se encontram 22 diferentes tipos de solos distribuídos em toda área de estudo (Figura 2).





**Figura 2.** Mapa pedológico da área de estudo na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP (Fonte: Plano Diretor Sociambiental Participativa do *campus* “Luiz de Queiroz”, 2009).

A vegetação local pertence ao domínio Mata Atlântica, possuindo unidades fitogeográficas de Floresta Estacional Semidecidual e Decidual, e floresta paludosa. As áreas estudadas se situam em locais de Floresta Estacional Semidecidual, presente em quase todo o *campus*, e paludosa, próximas às áreas com nascentes e área ripária, que normalmente são locais alagadiços.

## 2.2. Histórico do Programa de Adequação Ambiental do *campus* “Luiz de Queiroz”

O Plano Diretor Socioambiental Participativo do *campus* “Luiz de Queiroz” (PDSP) foi criado em 2005, após aprovação da Congregação da ESALQ/USP, como iniciativa de diferentes grupos de trabalho para adequar a instituição, em todas as suas instâncias, frente à legislação ambiental vigente. Promovendo, dessa forma, o engajamento de diversos atores e propondo ações para o uso do solo, resíduos, águas, percepção e educação ambiental, emissão de carbono, normatização ambiental e fauna, mobilidade, visitação do *campus* e energia. Paralelamente, a iniciativa também focou esforços em atuar na formação profissional e acadêmica de discentes, capacitando cidadãos responsáveis por aliar a produção agropecuária e a conservação ambiental.

Após análises do uso do solo do *campus* “Luiz de Queiroz”, percebeu-se que o mesmo apresentava inúmeras inconformidades ambientais, principalmente àquelas

relacionadas à ocupação inadequada de lavouras e pastagens em Áreas de Preservação Permanente (APPs), contrariando o Código Florestal de 1965 (Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965). A pedido da Prefeitura da ESALQ/USP, em 2001, foi criado o Plano de Adequação Ambiental do *campus* “Luiz de Queiroz” (PAA), pelo Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (LERF) do Departamento de Ciências Biológicas da ESALQ/USP, visando regularizar a instituição diante da legislação ambiental vigente. Demonstrando a importância dessa iniciativa, o PAA da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” foi protocolado e aprovado junto ao Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN) e ao Ministério Público Estadual em 2003, designando um Termo de Ajuste de Conduta voluntário. Esse compromisso, basicamente, obrigou o *campus* “Luiz de Queiroz” a adequar as suas APPs de acordo com o Código Florestal Brasileiro de 1965. Com isso, a partir do esforço institucional em efetivar o Termo, diversas ações de identificação de áreas irregulares e proposição de metodologias para aumentar a cobertura florestal no *campus* foram empregadas, principalmente lideradas pelo GADE/ESALQ/USP, equipe responsável pela recuperação, manutenção e monitoramento de parte das áreas degradadas.

### **2.3. Benefícios ambientais**

#### **2.3.1. Cobertura florestal em cobertura florestal de APPs**

Solicitamos o mapa de uso e ocupação do solo do *campus* “Luiz de Queiroz” referente ao ano de 2013, desenvolvido pela equipe do Plano Diretor Socioambiental Participativo, a fim de verificarmos a variação da cobertura florestal nativa total e em APPs; e a alteração do déficit de floresta nativa em APPs no período pré e pós Programa de Adequação Ambiental. Também realizamos uma checagem de campo com o objetivo de validar e assegurar a confiabilidade das informações fornecidas para produção de um mapa comparativo entre os anos de interesse (2005 e 2020).

Em posse do mapa de uso do solo do ano de 2013, desenvolvido pela equipe do Plano Diretor Socioambiental Participativo, utilizamos o Google Earth e o software ArcGis para examinarmos como se deu o processo histórico de mudança de ocupação do solo no *campus* “Luiz de Queiroz” ao longo da atuação do Programa de Adequação Ambiental da ESALQ/USP, focando, essencialmente, nas alterações espaciais (em hectares) da cobertura florestal nativa e das APPs entre 2005 e 2020. Em seguida, após a análise histórica e a inclusão/reclassificação dos polígonos associados as tipologias de interesse, geramos um

mapa com a identificação atualizada da cobertura de vegetação nativa da região de estudo em área total e nas APPs, de acordo com a seguinte divisão:

- Remanescente florestal: Área historicamente ocupada por vegetação nativa contínua;
- Restauração ativa: Área com plantio de espécies nativas;
- Restauração passiva: Área com condução da regeneração natural, por meio da eliminação dos agentes de degradação;
- Regeneração natural em estágio inicial passível de intervenção: Área sem intervenção antrópica, antes ocupada por atividades agropecuárias, com expressão de regeneração natural de espécies nativas e exóticas.

Esse mapa, contendo a dimensão das áreas associadas a cada tipologia, subsidiou os cálculos da cobertura florestal nativa em área total e nas APPs do *campus*, a fim de compreender o incremento de cobertura e identificar o déficit perante a legislação ambiental vigente. Para isso, subtraímos os valores totais e categorizados de vegetação nativa em área total e em APPs em 2020 pelos de 2005 e, conseqüentemente, obtivemos as porcentagens de incremento da cobertura e, por conseguinte, de déficit legal.

Vale destacar que a tipologia classificada como “Regeneração natural em estágio inicial passível de intervenção” foi dessa maneira designada pelo fato de apresentar estrutura florestal incipiente e fatores de degradação ainda presentes que precisam ser eliminados para favorecimento dos processos de restauração.

### **2.3.2. Balanço de carbono**

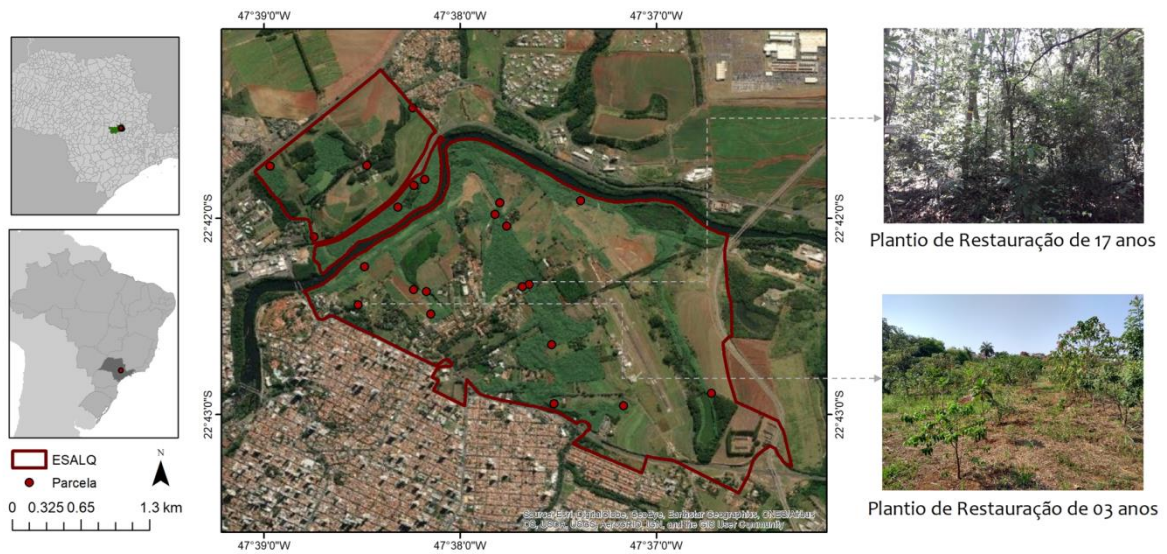
Em campo, aplicamos o protocolo desenvolvido pelo NewFor<sup>1</sup>, onde instalamos 21 parcelas permanentes de 900 m<sup>2</sup>, geralmente 30 x 30 m, em trecho representativo do polígono associado a restauração florestal na área de estudo (Figura 3). Ou seja, que apresentaram condições estruturais similares ao longo de toda zona de estudo, excluindo qualquer tipo de adversidade que pudesse influenciar negativamente nos dados coletados (à exemplo, clareiras, abundância de gramíneas, dominância de espécies invasoras no sub-bosque e/ou trepadeiras

---

<sup>1</sup> Newfor refere-se ao projeto temático “Understanding restored forests for benefiting people and nature” financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP – Processo nº 2018/18416-2) em parceria com a NWO (Dutch Research Council), que busca avaliar e compreender a multifuncionalidade das novas florestas do Estado de São Paulo.

no dossel). No caso das APPs com largura inferior a 30 m, instalamos parcelas de dimensão 20 x 45 m. Realizamos o inventário florestal nessas parcelas, por meio do qual plaqueamos, identificamos e mensuramos todos os indivíduos arbóreos e arbustivos que possuíam, pelo menos, um fuste com diâmetro à altura do peito igual ou superior a 5 cm ( $DAP \geq 5$  cm) e altura maior ou igual a 2 m. No caso de indivíduos que possuíam ramificações, a dimensão de todos os fustes foi aferida.

As idades dos plantios amostrados variaram entre 3 e 17 anos.



**Figura 3.** Localização geográfica das parcelas de restauração ativa objetos do estudo na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP, com destaque para os reflorestamos mais jovem e mais antigo do *campus* (Fonte: Google Earth, 2021).

Para a estimativa de biomassa acima do solo das restaurações florestais, utilizamos a equação alométrica desenvolvida por Rasera (2019).

$$\ln B_{tas} = b_0 + b_1 \ln DAP + b_2 \ln Ht + b_3 \ln Dbt$$

Onde,

$B_{tas}$  = Biomassa total acima do solo (kg);

DAP = Diâmetro à altura do peito -1,30 m do solo (cm);

Ht = Altura total (m);

Dbt = Densidade básica da madeira ( $\text{kg/m}^3$ );

ln = logaritmo na base natural (logaritmo neperiano).

Os valores de densidade básica da madeira foram respaldados em uma lista elaborada por Chave e colaboradores (2006) e por outros documentos prontamente disponíveis na literatura. Quando não foi possível a identificação botânica do indivíduo arbóreo/arbustivo ao nível de espécie, nos baseamos nas médias de densidade básica da madeira dos gêneros, famílias e em último caso, dos indivíduos identificados pertencentes a parcela. Já em situações em que não fomos capazes de coletar as alturas dos exemplares arbóreos/arbustivos, modelamos uma equação hipsométrica para aferir esses valores. Tal qual: Intercepto + (DAP tabelado \* DAP medido em campo). Foram modeladas 5% das alturas faltantes em relação a todos os exemplares amostrados.

Realizado esse refinamento prévio dos dados do inventário florestal, transformamos a biomassa acima do solo em carbono acima do solo multiplicando os seus respectivos valores pelo fator 0,47 (IPCC, 2006), posteriormente por 0,27 (já que, segundo o IPCC - 2006, o estoque de carbono nas raízes representa cerca 27% do estoque estimado na parte aérea das plantas) e finalmente pela dimensão da área (em hectares) de restauração correspondente a cada parcela amostral. Obtivemos, então, os teores de carbono totais por meio da soma desses três produtos. Transformamos os teores de carbono totais em CO<sub>2</sub> multiplicando os referidos valores por 44/12, fator referência do IPCC, e consideramos que o acúmulo de carbono em um dado plantio de restauração seguiu uma trajetória linear. Elaboramos, assim, uma matriz para estimarmos o estoque anual de cada plantio levando em consideração o ano de implantação do reflorestamento e o ano do último monitoramento, no caso 2020. Imediatamente somamos o estoque total de cada ano, e por meio da subtração do estoque do ano correspondente pelo do ano anterior, obtivemos o estoque de CO<sub>2</sub> acumulado em um ano particular. Finalmente, associamos esse valor de estoque anual com as emissões anuais do *campus* da ESALQ publicadas nos relatórios do Plano Diretor Socioambiental. Em posse desses dados, conseguimos calcular o estoque anual de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>eq/ano) médio e a neutralização média anual (%) das restaurações da área de estudo em relação às emissões do *campus*.

Concomitantemente, essas informações ao nível de parcela subsidiaram dados para a modelagem do estoque de carbono na área de estudo por meio do Light Detection And Ranging (Lidar). Assim, acessamos os dados do sensor Lidar obtidos em parte do *campus* da ESALQ/USP, incluindo a Fazenda Areão, em 22 de Junho de 2018 e 27 de Agosto de 2019, adquiridos por meio de um sensor que foi transportado por uma plataforma UAV (Unmanned Aerial Vehicles - GatorEye Unmanned Flying Laboratory) (BROADBENT et al., 2020). Dentre as áreas sobrevoadas, amostramos florestas em restauração de diferentes idades,

remanescentes florestais degradados e monocultivos de espécies comerciais. A coleta de dados se deu a uma altura de voo de 60 m acima do solo, a uma velocidade de 10 m/s e a uma distância horizontal aproximada entre as linhas de voo adjacentes de 50 m, produzindo, assim, uma densidade de nuvem de pontos superior a 100 retornos por metro quadrado. O referido sistema GatorEye inclui um hexacóptero de decolagem e pouso vertical DJI Matrice 600 Pro, com autonomia de voo de, aproximadamente, 19 minutos com cinco conjuntos de baterias para voos múltiplos por dia, e 5 km de telemetria. O conjunto de sensores do sistema Phoenix LiDAR consiste em um cabeçote de scanner a laser Velodyne VLP-16 de retorno duplo, com capacidade de 600.000 retornos por segundo, com software ao vivo e de pós-processamento. O GNSS funciona com precisão de  $\pm 2,5$  cm usando um receptor de frequência duplo L1/L2 e uma unidade de medição inercial STIM 300 de grau tático. Os dados georreferenciados foram pós-processados em relação a uma estação de base local (X900S-OPUS), usando o software Novatel Inertial Explorer. O Laboratório de Silvicultura Tropical (LASTROP) da ESALQ/USP foi utilizado como base para o pós-processamento dos dados coletados durante um dia no *campus*, operando a plataforma online Trimble CenterPoint RTX.

Executamos esta etapa conforme proposto por Almeida e colaboradores (2019) e desenvolvemos as análises no ambiente R utilizando os pacotes ForestGapR, lidR, leafR e raster.

Destacamos que a área total de restauração ativa mapeada na ESALQ foi de, cerca de, 118,6 ha, porém aproximadamente 64 ha foram cobertos por Lidar. No entanto, alguns trechos desses 64 ha são mais estreitos que um pixel de 30m ou não cobriam a maior parte da área do pixel e por isso não foi possível contabilizar a biomassa correspondente. Então, contabilizou-se efetivamente 54,3 ha dos pixels associados aos plantios de restauração da área de estudo.

Com a nuvem de pontos normalizada, geramos um modelo digital de terreno com resolução de 0,5 m (função *classify\_ground*) usando os pulsos que atingem o solo e corrigimos a altura dos pontos restantes com base na distância do solo. Em seguida, geramos um mapa de altura do dossel com resolução de 0,5 m para toda extensão sobrevoada, considerando o ponto mais alto em cada pixel usando a função *grid\_canopy*. Com base na altura do dossel para cada pixel de 0,5 m em cada parcela, calculamos as seguintes métricas para a altura do dossel em cada parcela amostral: i. Média e desvio padrão; ii. Abertura do dossel: usando a função *getForestGaps*. Consideramos clareiras as áreas em que a altura do dossel era inferior a 5 m e tamanho mínimo de 10 m<sup>2</sup>; iii. Volume da Altura da Área da Folha (LAHV): somando os produtos da altura e do LAD médio naquela altura, para todos os

intervalos de altura de 1 m na média. Gerado pela função LAHV; iv. Rugosidade: desvio padrão da altura por área de interesse (30 m referente a área da parcela amostral); v. Índice de área foliar (LAI): soma da área de densidade foliar no perfil (área de interesse), LAI2 e LAI\_undestory (referente ao subosque).

Em sequência, usamos modelos lineares e quadráticos para encontrar e estimar os estoques de carbono nas parcelas de restauração florestal da área de estudo. As relações entre a biomassa acima do solo (AGB) e os parâmetros estruturais foram testadas por meio da análise de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk). Finalmente, identificamos o melhor modelo com base no Akaike Information Criteria (AIC), selecionando o modelo mais parcimonioso com o menor AIC. Tal qual:

$$\text{Intercepto} + b1*\text{LAI} - b2*\text{LAI}^2 - b3*\text{Rugosidade}$$

Vale mencionar que para a determinação dos tamanhos dos pixels para os cálculos de rugosidade, LAI e LAI<sup>2</sup> consideramos uma área de referência de 900 m<sup>2</sup> correspondentes as parcelas amostrais, a fim de calibrar a equação.

Finalmente, utilizamos o pacote raster no ambiente R para aplicar a equação selecionada nas camadas raster. E, em seguida, no software QGis finalizamos o layout do mapa de biomassa para as áreas de restauração ativa do *campus* recortando os referidos layers.

### 2.3.3. Condutividade hidráulica saturada

Em campo, coletamos as informações sobre infiltração de água no solo na porção central da parcela de estudo, seguindo os passos recomendados pelo Best Method (Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments). Basicamente: i. Removemos, cuidadosamente, todo material acima da camada superficial do solo, geralmente serapilheira, evitando, ao máximo, desestruturá-lo; ii. Inserimos o anel de infiltração, cerca de, 1 cm abaixo da superfície do solo, ou até que não houvesse possibilidade de vazamento de água pelas suas laterais; iii. Enchemos béqueres com 150 ml de água. Em casos especiais, como paisagens agropecuárias e solos excessivamente compactados, utilizamos para avaliação, apenas, 75 ml de água; iv. Iniciamos o cronômetro juntamente com o derramamento do primeiro copo com água, derramamos o segundo copo com água, imediatamente após a água do primeiro ter infiltrado por completo no solo, e assim sucessivamente. Marcamos o tempo no cronômetro de maneira corrida. Repetimos esse

procedimento, no mínimo, oito vezes, pois o recomendado é que a avaliação deva ser finalizada quando o tempo entre um copo e outro estabilize.

Para isso, além das 21 unidades amostrais em áreas em processo de restauração ecológica, também instalamos 10 parcelas em locais de usos agropecuários (lavouras e pastagens) para fins de comparação da capacidade de infiltração de água no solo.

Inferimos a Condutividade Hidráulica Saturada do solo a partir das informações sobre o raio do anel utilizado (mm), teor de areia do solo estudado (%), volume de água utilizado em cada béquer (ml) e tempo medido para infiltração de cada copo (horas, minutos e segundos) por meio da fórmula desenvolvida por Lassabatère e colaboradores (2006).

$$K_s = \frac{b^2}{\frac{\gamma\gamma_w}{r\alpha^*} + 1}$$

Onde,

$K_s$  = Condutividade hidráulica saturada (mm/s);

$b^2$  = Inclinação (LT-1);

$\gamma$  = coeficiente de infiltração comumente fixado em 0,75;

$\gamma_w$  = constante adimensional relacionada ao formato da infiltração e é fixada em 1,818;

$r$  = raio do anel utilizado (mm)

$\alpha^*$  = constante igual a 0,012 para solos tropicais (mm-1).

Por fim, utilizando o software R, realizamos uma Análise de Variância (ANOVA), entre a Condutividade hidráulica saturada e o Uso do solo. Bem como, analisamos a interação entre o teor de argila e a Condutividade hidráulica saturada por meio de uma Análise de Covariância (ANCOVA).

Vale destacar que as análises físicas, que incluem a determinação dos teores de areia nos solos, foram realizadas no Laboratório de Análises Físicas, do Departamento de Solos da ESALQ/USP.

## **2.4. Benefícios socioeconômicos**

### **2.4.1. Produtividade agropecuária**



Solicitamos formalmente ao Departamento de Zootecnia da ESALQ/USP os dados censitários de animais que compuseram o rebanho de bovinos de corte e de leite e as dimensões totais das pastagens produtivas (em hectares) durante os anos de interesse (2005 e 2020). Desconsideramos as áreas de confinamento.

A partir das informações secundárias cedidas, verificamos as variações da produção e produtividade da Zootecnia da ESALQ/USP no período de interesse por meio da avaliação da flutuação do número de animais por hectare nas pastagens do Departamento. Bem como, examinamos as oscilações das dimensões das áreas produtivas no mesmo intervalo de tempo. Concomitantemente, em posse dos mapas de cobertura da vegetação nativa do *campus* “Luiz de Queiroz”, aferimos a redução de espaço produtivo (em hectares) entre 2005 e 2020 ocasionadas pelas restaurações florestais fruto do PAA no LZT/ESALQ/USP.

#### **2.4.2. Formação profissional**

Solicitamos aos grupos de pesquisa e extensão GADE e Monte Olimpo informações censitárias dos discentes que participaram de atividades de gestão das áreas em processo de restauração ecológica do *campus* “Luiz de Queiroz” (planejamento, implantação, manutenção e monitoramento de reflorestamentos) durante os anos de interesse. E pedimos bases sobre o número de alunos da graduação que se beneficiaram intelectualmente das áreas em restauração nas disciplinas de “Botânica Sistemática”, “Recuperação de Áreas Degradadas”, “Recursos Florestais em Propriedades Agrícolas” e “Silvicultura de Espécies Nativas” aos seus respectivos docentes ministrantes ao longo do mesmo período.

A partir das informações secundárias obtidas, avaliamos no intervalo de tempo de interesse, os números de discentes do *campus* “Luiz de Queiroz” capacitados sob influência do Programa de Adequação Ambiental, em especial pelas áreas de restauração florestal da área de estudo.

### 3. RESULTADOS

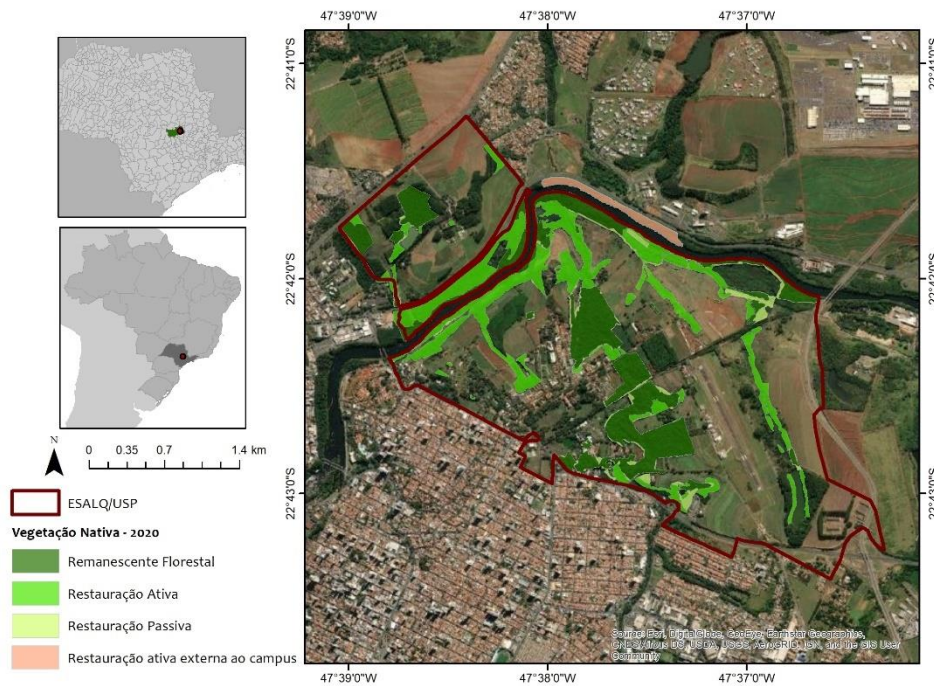
#### 3.1. Benefícios ambientais

##### 3.1.1. Cobertura florestal e cobertura florestal de APPs

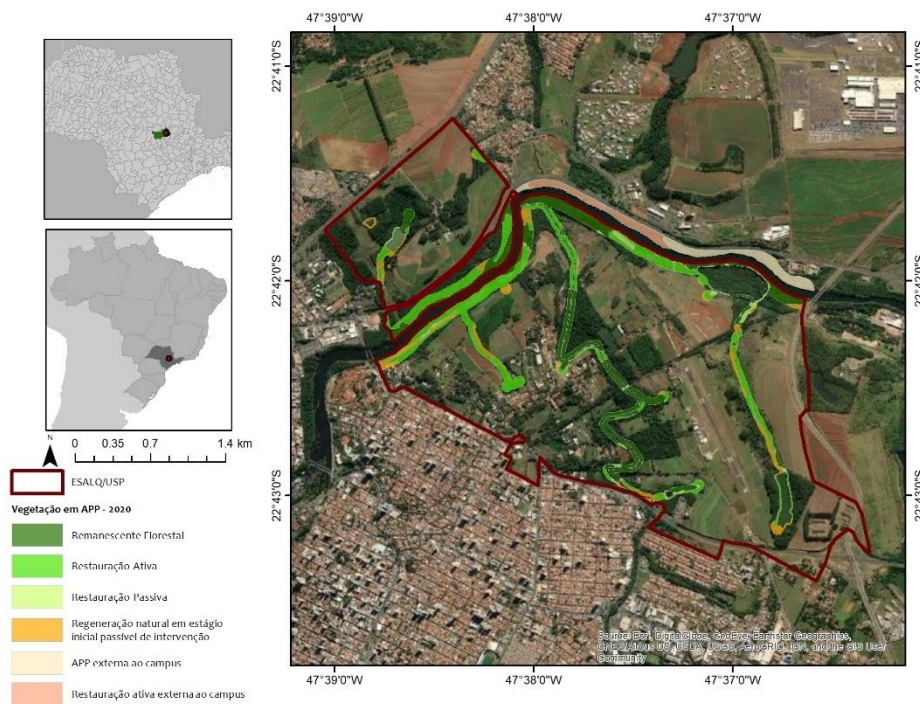
Durante o período de interesse, verificamos que o PAA incorporou 137,6 ha de vegetação nativa ao *campus*, o que representa um aumento de 91,4% de cobertura florestal nativa na área de estudo; 55,7% da vegetação em restauração se concentra em APPs (66,3 ha), acarretando um aumento de 106,3% de cobertura florestal nativa nessas áreas (Figuras 4 e 5). O déficit legal de vegetação nativa em APPs no *campus* da ESALQ foi praticamente anulado, já que os 13,5% passíveis de intervenção correspondem aos 18,7 ha ocupados pela regeneração natural em estágio inicial, antes tomados por atividades agropecuárias. Logo, não há mais áreas susceptíveis de regularização ambiental no *campus* “Luiz de Queiroz”.

Externamente ao limite do *campus* “Luiz Queiroz”, mensuramos uma restauração florestal ativa de 8 ha, também implantada pelo PAA para fins de recuperação da APP do Rio Piracicaba. Apesar da sua importância ecológica, não contabilizamos tal área, justamente por se tratar de um reflorestamento fora da abrangência da área de estudo.

Vale mencionar que consideramos esses trechos ocupados com regeneração natural em estágio inicial passível de intervenção no cômputo porque mesmo não apresentando estruturas florestais estabelecidas nos levantamentos, poderão futuramente, após os manejos, contribuir ativamente para o resgate dos processos estruturais e ecológicos no *campus*.



**Figura 4.** Mapa da cobertura vegetal nativa em área total no *campus* da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP, no ano de 2020, com as respectivas classificações de tipologia.



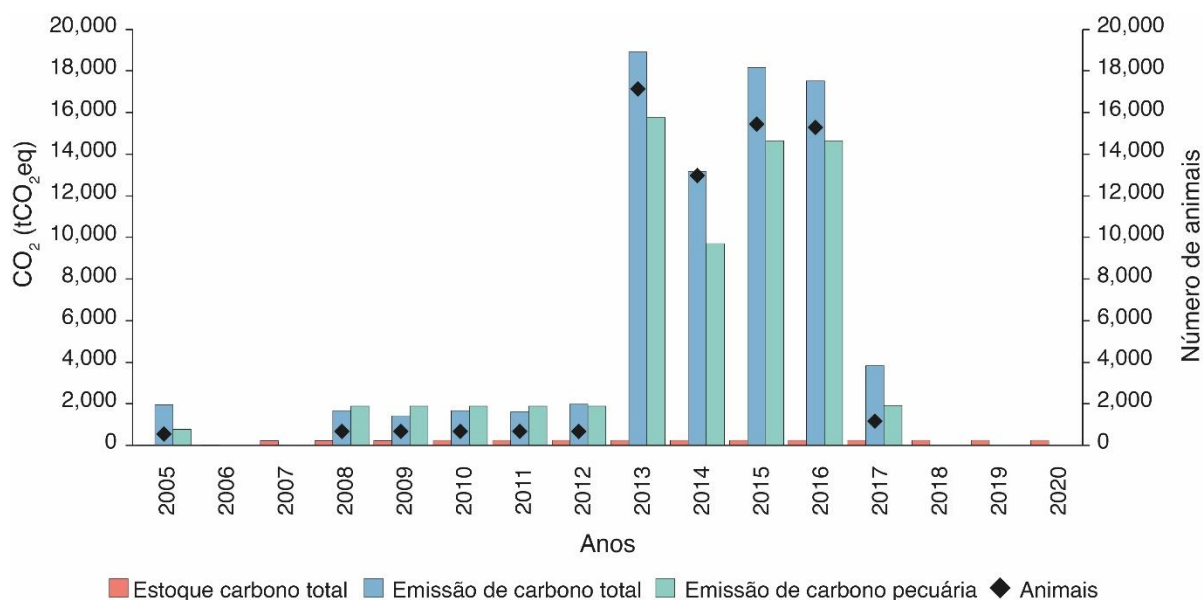
**Figura 5.** Mapa da cobertura vegetal nas Áreas de Preservação Permanente no *campus* da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP, no ano de 2020, com as respectivas classificações de tipologia.

Salientamos que do total de espécies amostradas nos reflorestamentos da ESALQ/USP (ANEXO), 8,52% são exóticas, principalmente de Goiaba (*Psidium guajava* L.),

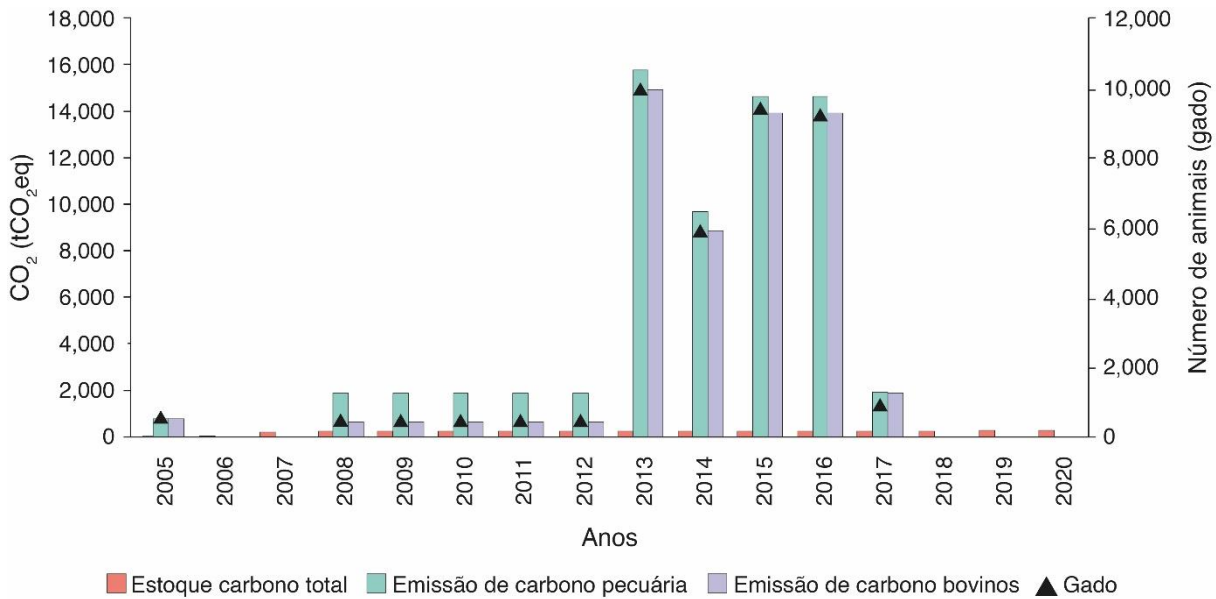
*Leucena* (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), Jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e Ipê-de-jardim (*Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth). Paralelamente, aferimos 7,91% dessas espécies exóticas, em média, por parcela.

### 3.1.2. Balanço de carbono

Quantificamos que as restaurações florestais da área de estudo neutralizam anualmente, em média, 7,64% das emissões totais do *campus* (Figura 6). Já em relação as atividades pecuárias desenvolvidas no *campus* “Luiz de Queiroz”, que correspondem a maior porção das emissões de CO<sub>2</sub>, a neutralização média anual dessas práticas pelos reflorestamentos é de 7,66% (Figura 6).



**Figura 6.** Balanço entre as emissões totais de CO<sub>2</sub> do *campus* da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP, em relação a estocagem anual de dióxido de carbono pelas restaurações florestais ativas no período de interesse, com destaque para as emissões provenientes da atividade pecuária.

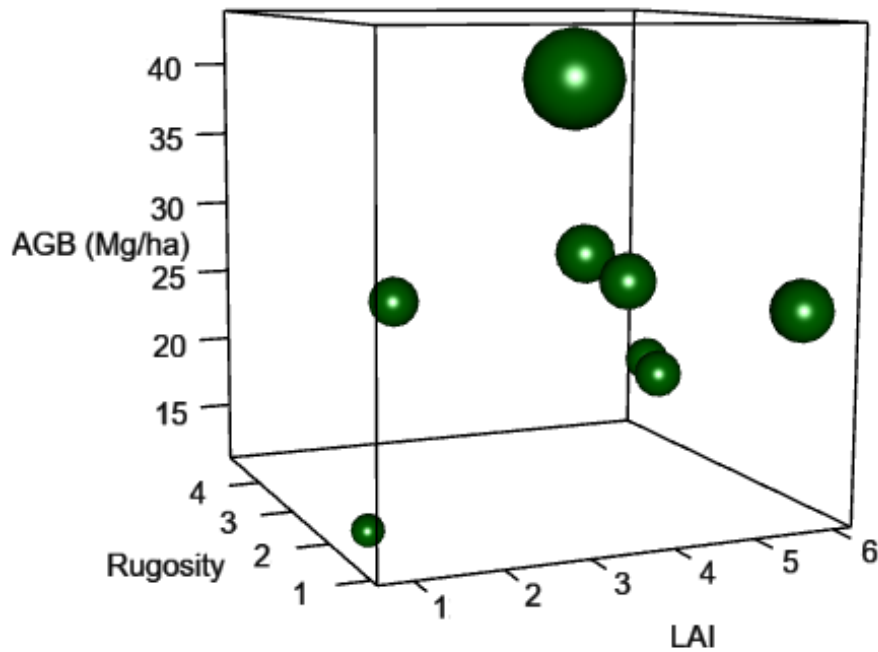


**Figura 7.** Balanço entre as emissões totais de CO<sub>2</sub> pela atividade pecuária do *campus* da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP, em relação a estocagem anual de dióxido de carbono pelas restaurações florestais ativas no período de interesse, com destaque para as emissões provenientes da atividade da bovinocultura.

Destacamos que as emissões totais do *campus* e aquelas advindas da produção pecuária acompanharam diretamente a oscilação do número de animais criados e manejados na instituição no período de interesse. Ou seja, os anos em que o *campus* “Luiz de Queiroz” mais emitiu CO<sub>2</sub> foram justamente os anos em que os rebanhos de animais eram maiores. Em especial, da bovinocultura de corte e de leite, que correspondeu a maioria das emissões associadas a atividade pecuária.

Em relação aos dados Lidar, inferimos que o melhor modelo preditivo para a biomassa acima do solo produzido com variáveis derivadas do Lidar foi uma regressão linear quadrática utilizando o LAI e a Rugosidade (Figura 8). Tal qual:

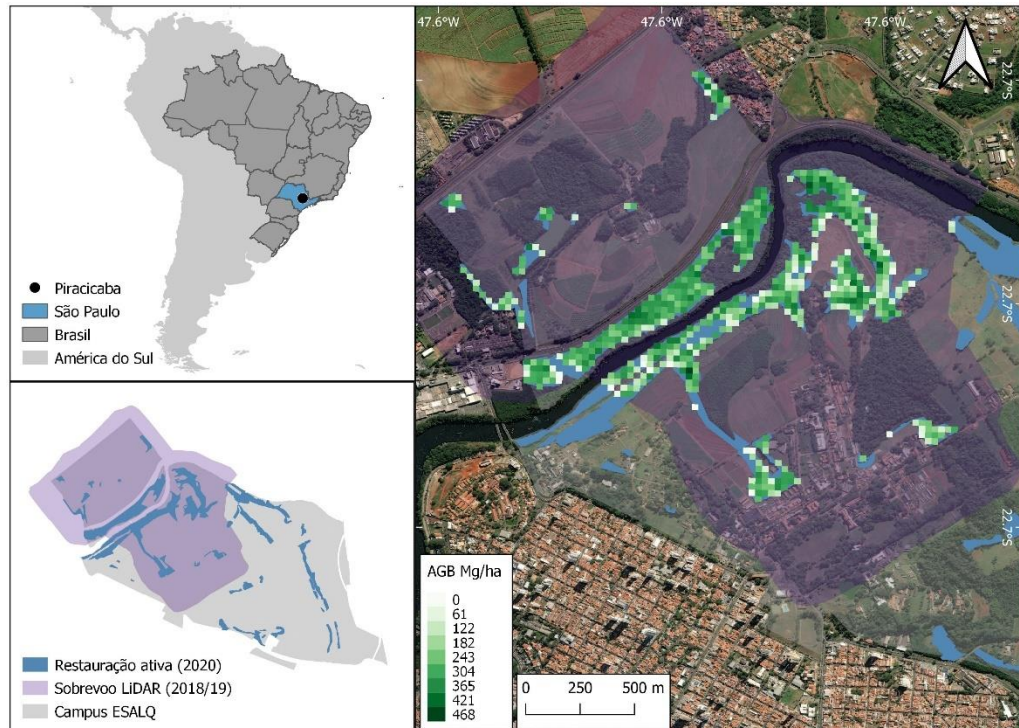
$$AGB = 0,21 + LAI*25,56 - LAI^2*3,57 - Rugosidade*4,24$$



**Figura 8.** Gráfico 3D que correlaciona a biomassa (AGB) das parcelas amostrais de restauração ativa do *campus* da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP, com as métricas Lidar selecionadas pelo modelo preditivo, tais quais: LAI e Rugosidade.

O modelo apresentou um  $\Delta AIC$  igual a zero quando comparado aos demais. Logo, a partir dessa equação, aferimos que os 54,3 ha de áreas em processo de restauração florestal do *campus* sobrevoados pelo Lidar estocam em média, atualmente, 118,25 Mg/ha de carbono, o que corresponde a 251,6 toneladas de biomassa por hectare (com grande variação dentro desse valor devido à alta variação de idades) (Figura 9).

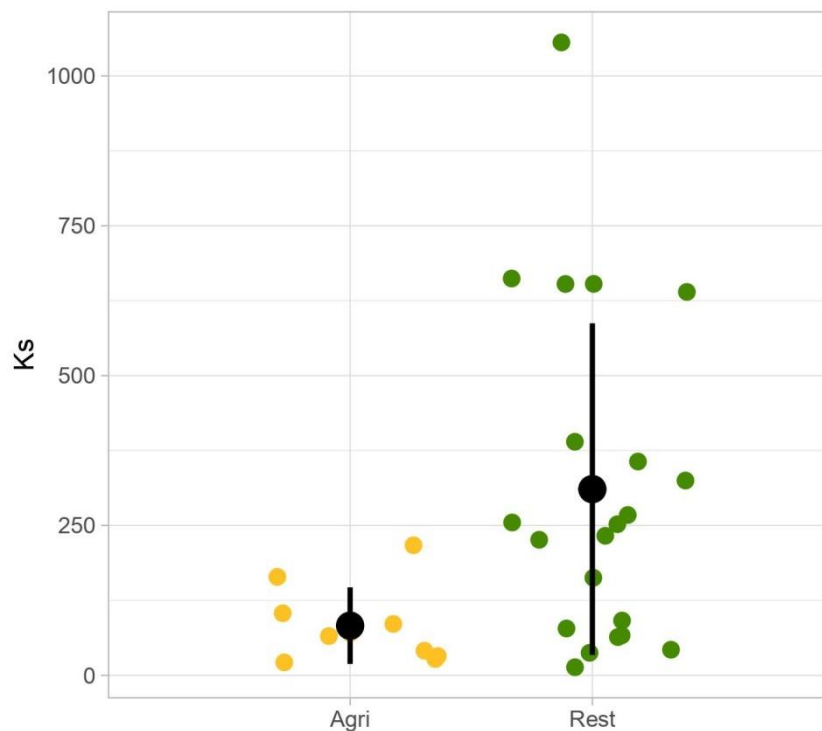




**Figura 9.** Mapa da biomassa das restaurações ativas do *campus* da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP, gerado a partir do modelo preditivo.

### 3.1.3. Condutividade hidráulica saturada

Ao realizarmos uma ANCOVA, não encontramos efeito significativo da interação entre o teor de argila e a Condutividade hidráulica saturada ( $P=0,65$ ). Porém, por meio da ANOVA, observamos que a Condutividade hidráulica saturada do solo de áreas em processo de restauração foi significativamente maior que a de áreas ocupadas por pastagens e agricultura, a uma probabilidade de significância equivalente a 1% (Figura 10).



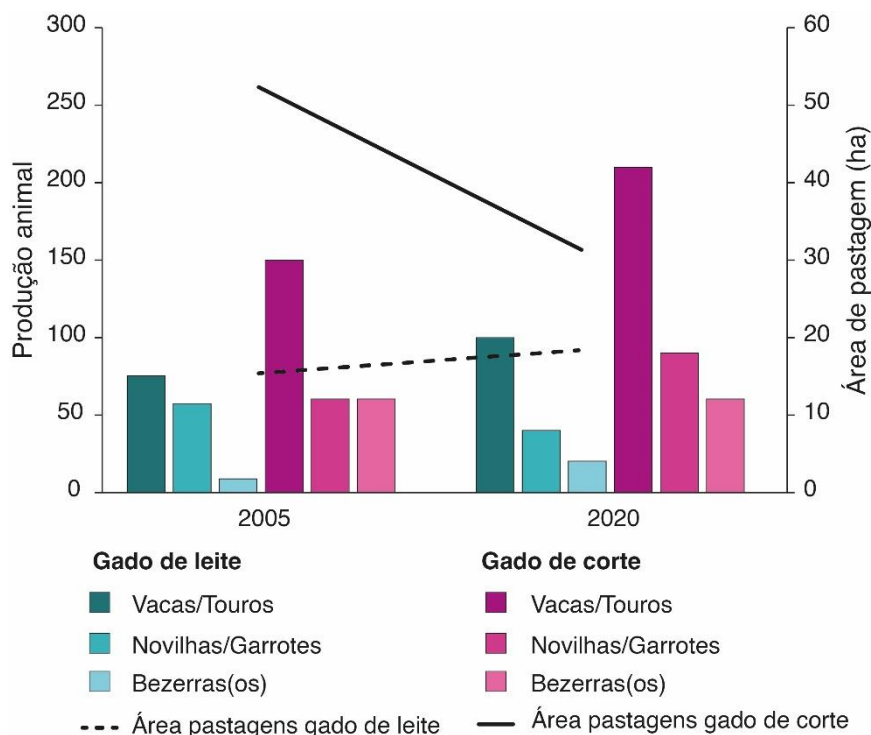
**Figura 10.** Gráfico da ANOVA que compara a interação entre a condutividade hidráulica saturada (Ks) e os usos do solo (Atividades agropecuárias – Agri e Reflorestamentos - Rest) no *campus* da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP.

## 3.2. Benefícios socioeconômicos

### 3.2.1. Produtividade agropecuária

A expansão da cobertura de vegetação nativa por meio da restauração florestal não implicou em perdas de produção pecuária. Pelo contrário, no período estudado (2005-2020), o rebanho leiteiro e de corte aumentou em 60% e 33%, respectivamente, ao passo que a área de pastagens para a pecuária leiteira teve um leve aumento (18,83%) e para a pecuária de corte uma redução expressiva (-40,07%). No geral, tanto a pecuária leiteira como a de corte tiveram ganhos de produtividade (34,64% e 122,50% respectivamente) (Figura 11), o que permitiu acomodar a área adicional de 23,9 hectares de floresta nativa anteriormente ocupada por pastagens (2,04% de Remanescentes florestais; 26,40% de Restaurações assistidas; 13,34% de Restaurações passivas; e 58,20% de Restaurações ativas).





**Figura 11.** Relação da oscilação da produção animal (número de cabeças de gado de leite e corte) no Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP, com a mudança na área de pastagem ocasionada pelos reflorestamentos do *campus*.

Salientamos que a referida produtividade pecuária também não foi afetada pela diminuição em 5 ha da área destinada à produção de milho para silagem no referido período.

### 3.2.2. Formação profissional

Anualmente, 290 alunos de graduação utilizam as áreas de restauração florestal do *campus* “Luiz de Queiroz” para ensino nas disciplinas de “Botânica Sistemática”, “Recuperação de Áreas Degradadas”, “Recursos Florestais em Propriedades Agrícolas” e “Silvicultura de Espécies Nativas”. No período de interesse do estudo, 144 membros do Grupo de Adequação Ambiental e 128 do Monte Olimpo utilizaram tais locais em atividades de ensino, pesquisa e extensão.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Benefícios ambientais

#### 4.1.1. Cobertura florestal e cobertura florestal de APPs

Em 2009, o Plano Diretor Participativo da ESALQ mapeou a necessidade de recuperação de 113,74 ha em Áreas de Preservação Permanente ocupadas irregularmente por culturas agrícolas, pastagens e áreas abandonadas. Bem como identificou que grande parte delas se revelavam altamente degradadas e isoladas, apresentando, à exemplo, maciços de vegetação exótica e baixa resiliência ambiental (COOPER, 2009). Ao longo dos diagnósticos de campo, apontou-se que ao longo de 8 anos o *campus* “Luiz de Queiroz” acumulou um saldo positivo de adequação do uso do seu solo, impulsionado, especialmente, pelas iniciativas de restauração florestal (COOPER, 2018).

Nessa conjuntura, o PAA, por meio das implantações e conduções das restaurações florestais ao longo do período de estudo, contribuiu efetivamente para o aumento da cobertura vegetal nativa na área de estudo e para o enquadramento do *campus* à legislação ambiental vigente. Nesse sentido, o apropriado diagnóstico das inconformidades ambientais pelo Plano Diretor Participativo aliado a obrigatoriedade de cumprimento do Código Florestal, permitiram uma maior efetividade das ações de restauração ecológica operadas em campo, garantindo, assim, a recuperação da vegetação nativa no *campus* (VIDAL et al., 2014; COSTA, 2019). Concomitantemente, essa exigência legal que inviabiliza o uso das APPs para atividades agropecuárias condiciona que as iniciativas de restauração florestal se concentrem nessas localidades (PINTO et al., 2014). Por isso, praticamente 100% das APPs da área de estudo estão atualmente cobertas por florestas nativas.

Contudo, além dos esforços para aumentar a cobertura vegetal nativa em área total e em APPs na abrangência da região de estudo, por meio da restauração ecológica, outro importante empenho também foi fundamental para a concretização desse cenário positivo. A contenção de fatores de degradação em remanescentes florestais, que correspondem a 48,06% do total da cobertura vegetal nativa do *campus* (e 44,20% em APPs), propiciou a manutenção da cobertura vegetal desses habitats e a identificação de áreas complementares a serem restauradas ao longo dos anos de interesse (GAMA et al., 2013; VIDAL et al., 2016; CHAZDON, 2019). Nesse sentido, os trabalhos despendidos foram mais eficazes e bem-sucedidos.

Ao mesmo tempo, nas localidades denominadas “Regeneração natural em estágio inicial passível de intervenção” não foram identificadas estruturas florestais estabelecidas, porém essas áreas se caracterizam por não estarem ocupadas por usos agropecuários nos últimos anos. Dessa forma, apresentam uma capacidade satisfatória de resiliência ecológica que auxilia diretamente na recuperação estrutural e funcional da vegetação nativa no *campus* (TEIXEIRA et al., 2009; DURST et al., 2011; CROUZEILLES et al., 2017). No entanto, por se tratarem de áreas historicamente degradadas e possivelmente de baixa resiliência, se fazem necessárias intervenções para desencadeamento dos processos ecológicos e sustentabilidade ambiental a longo prazo, tais quais, condução da regeneração natural, plantios de enriquecimento e adensamento; e semeadura direta (BRANCALION, GANDOLFI e RODRIGUES, 2015; CHAZDON, 2017). Outro manejo antrópico que deve ser realizado nessa atividade de intermédio nas áreas em processo de restauração florestal do *campus* da ESALQ é a supressão de espécies exóticas com capacidade invasora e de rápida propagação, comumente presentes em áreas degradadas (ISERNHAGEN et al., 2009; NAVE et al., 2009). Nesses reflorestamentos do *campus* foram identificados agrupamentos de Ipê-de-jardim (*Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth), Jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), que quando não controlados podem inviabilizar a trajetória sucessional por meio da competição de recursos com as espécies nativas (HOBBS e HUENNEKE, 1992; MANGUEIRA, HOLL e RODRIGUES et al., 2019; DYDERSKI e JAGODZIŃSKI, 2020).

#### **4.1.2. Balanço de carbono**

Ademais ao avanço da cobertura florestal nativa no *campus* em área total e nas APPs, cooperando significativamente para o cumprimento do TAC firmado junto ao Ministério Público, as restaurações florestais do *campus* “Luiz de Queiroz” também auxiliaram para a intensificação de processos associados a importantes serviços ecossistêmicos. Em vista disso, o valor estocado pelos reflorestamentos da área de estudo demonstram que além de processos estruturais, as dinâmicas funcionais também vêm sendo reabilitadas ao longo da vigência do PAA. Corroborando com os números do trabalho de Gardon (2020) em áreas de restauração florestal de diferentes idades no Estado de São Paulo. Sendo assim, os plantios de árvores possuem um enorme potencial de recuperação da biomassa florestal, contribuindo significativamente para o sequestro de carbono atmosférico e, conseqüentemente, para a

mitigação das mudanças climáticas nas paisagens historicamente alteradas pelo homem (BULLOCK et al., 2011; POORTER et al. 2016; SUAREZ et al., 2019).

No entanto, apesar da evidente contribuição na estocagem de carbono, as restaurações ativas da área de estudo neutralizam um valor ínfimo do total de emissões das atividades antrópicas desenvolvidas no *campus*. Corroborando com o ponto de vista de Friedlingstein e colaboradores (2019) à âmbito global. Conjuntamente, do mesmo modo, o *campus* da ESALQ neutraliza uma baixíssima porcentagem das emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da criação de bovinos, atividade que representa a maior porção de lançamento de dióxido de carbono para a atmosfera no *campus* “Luiz de Queiroz”. Refletindo a situação em escala nacional, conforme apontado em diversas pesquisas que estudaram a temática nos últimos anos (CERRI et al, 2009; MAZZETTO et al., 2015; BATISTA et al., 2019), cuja emissão de dióxido de carbono procedente dos rebanhos bovinos corresponde a 28% das emissões totais no Brasil (SEEG, 2019).

Apesar da capacidade das restaurações florestais neutralizarem, aproximadamente, 30% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, estudos sobre os impactos dos reflorestamentos na mitigação de dióxido de carbono em larga escala ainda são escassos na literatura (BERNAL, MURRAY e PEARSON, 2018; STRASSBURG et al., 2020). Porém, têm-se conhecimento que a aptidão dos plantios de restauração em sequestrarem carbono da atmosfera está intrinsecamente relacionada a fatores ambientais e metodológicos, tais como, composição da comunidade implantada, contexto do entorno, uso anterior do solo, nível de degradação e características físicas e químicas do solo (BROWN e LUGO, 1990; SHVIDENKO, BARBER e PERSSON, 2005; CHAZDON et al., 2016; CROUZEILLES et al., 2016). Bem como, sabe-se que o incremento de biomassa se torna mais rápido a partir dos 25-30 anos da trajetória ecológica, justamente pelo incremento de biomassa arbórea nos plantios pelo aumento da abundância de espécies de grupos sucessionais mais avançados. (AIDE et al., 2000; CHAZDON, 2013; GARDON, 2020). Sendo assim, considerando que o reflorestamento mais antigo do *campus* da ESALQ que foi monitorado nesse estudo possui 17 anos, subentende-se que a longo prazo a taxa de neutralização de CO<sub>2</sub> das atividades potencialmente poluidoras do *campus* “Luiz de Queiroz” pode ser alavancada pelas restaurações florestais.

Por outro lado, essa situação reflete a urgência imediata de iniciativas para a redução das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> e a adoção de estilos de vida e práticas produtivas mais sustentáveis, associada a diminuição da utilização de combustíveis fósseis (UNFCCC, 2015; REIS et al., 2017; IPCC, 2018). Desse modo, especificamente, em relação das emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da atividade pecuária, as estratégias de intensificação que podem ser

incorporadas para a minimização desse processo incluem a recuperação de pastagens degradadas, manejo da fertilidade dos solos, seleção e rotação das espécies de forrageiras, melhoramento genético do rebanho bovino, enriquecimento da dieta dos animais e práticas relacionadas a gestão da época do abate e ciclos gestacionais das matrizes (CERRI et al., 2010; MAZZETTO et al., 2015; FIGUEIREDO et al., 2017), bem como redução do consumo e, conseqüentemente, da produção pecuária.

Associadamente, no que diz respeito aos reflorestamentos, outras práticas de manejo complementares podem maximizar o potencial de sequestro de carbono pelas florestas implantadas, tais quais, seleção de espécies, eliminação de competidores, controle de lianas, condução da regeneração natural e plantio de enriquecimento/adensamento (BRANCALION et al., 2018; PHILIPSON et al., 2020). Concomitantemente, atualmente, outra latente abordagem para potencializar a neutralização de carbono das atividades antrópicas é a associação da prática do plantio de árvores em ecossistemas degradados com a proteção de remanescentes florestais, alavancando a capacidade das paisagens florestais atuarem como sumidouros de carbono atmosférico (BRANCALION e CHAZDON, 2017; STRASSBURG et al., 2020).

#### **4.1.3. Condutividade hidráulica saturada**

As áreas em processo de restauração florestal associadas ao PAA da área de estudo, além de contribuírem para o aumento da cobertura vegetal nativa no *campus* e para a estocagem de carbono, também cooperaram para o fomento de outros benefícios ecológicos, com destaque para a prestação de serviços ambientais associados a regulação dos processos hidrológicos. Ou seja, tendo conhecimento que o *campus* “Luiz de Queiroz” é atravessado por uma extensa e diversa malha hidrográfica (Rio Piracicaba e Ribeirão Piracicamirim, córregos, lagoas e represas) que gera a obrigatoriedade de recuperação de APPs perante a legislação ambiental vigente, os reflorestamentos implementados nessas localidades durante o período de atuação do PAA ajudaram no ciclo hidrológico e, conseqüentemente, nos recursos hídricos (COOPER, 2009; TUNDISI e TUNDISI, 2010; TAMBOSI et al., 2015; BIGGS et al., 2019).

Dessa maneira, dentre os seus mais diferentes objetivos, as restaurações florestais são conduzidas na expectativa de melhorarem as propriedades hidráulicas do solo e, conseqüentemente, os processos hidrológicos e recursos hídricos nas Áreas de Preservação Permanente (FILOSO et al., 2017; TORRES, 2021). Diante desse panorama, os reflorestamentos da área de estudo apresentaram melhores taxas de infiltração de água no solo

quando comparados às áreas de uso agropecuário do *campus* “Luiz de Queiroz”, quando a condutividade hidráulica saturada foi avaliada individualmente. Assim como encontrado no trabalho de Lozano-Baez e colaboradores (2018). Esse resultado se deu, principalmente, pela biodiversidade associada aos reflorestamentos que propiciam maior heterogeneidade estrutural e funcional, em especial abaixo do solo, quando comparados aos usos dos solos agropecuários. Dessa maneira, a cobertura vegetal nativa potencializou a contenção dos processos de degradação do solo, garantindo melhores condições físicas ao sistema, como por exemplo aeração e umidade (SEIBERT e MCDONNELL, 2010; GAGELER et al., 2014; PAULE-MERCADO et al., 2017). Paralelamente, tem-se conhecimento que a cobertura de dossel das florestas assegura menor impacto das gotas d’água no solo pela interceptação da chuva nas folhas das árvores, aumentando a capacidade de saturação hidráulica saturada nos reflorestamentos. Bem como, avalia a manutenção das condições naturais do solo tais quais, teor de matéria orgânica, porosidade, atividade biológica e enraizamento (LEITE et al., 2018; HAO et al., 2019).

Por outro lado, usos mais intensivos do solo exibem menor capacidade de infiltração de água no solo por conta, essencialmente, dos fatores de degradação associados à essas paisagens que modificam os processos químicos e biológicos relacionados ao sistema (MARTINEZ e ZINCK, 2004; PEREIRA et al., 2020). Sendo assim, solos desprotegidos, compactados e constantemente manejados são menos porosos e ineficientes na infiltração de água se tornando menos permeáveis e mais propícios a erosão (SOUZA e ALVES, 2003; GERMER et al., 2010; LOPES et al., 2020).

Finalmente, apesar das condutividades hidráulicas saturadas das áreas avaliadas no estudo não terem sofrido influência direta do teor de argila do solo, sabe-se que a infiltração de água pode ser afetada pela textura do solo. De maneira geral, solos argilosos apresentam elevada capacidade de retenção de água por conta dos agentes de sedimentação (REGELINK et al., 2015). Contudo, além dos estudos a respeito dos efeitos das propriedades do solo na infiltração de água serem escassos na literatura, diversos outros fatores podem impactar nessa dinâmica, tais quais, idade, diversidade e estrutura da floresta, uso anterior da área, tipo de cobertura, topografia do relevo e manejos executados (DEB e SHUKLA, 2012; LEITE et al., 2018; LOZANO-BAEZ et al., 2019; MONGIL-MANSO, NAVARRO-HEVIA e SAN MARTÍN, 2021).

## 4.2. Benefícios socioeconômicos

### 4.2.1. Produtividade agropecuária

Além dos benefícios ecológicos ao nível de paisagem, as áreas em processo de restauração da área de estudo também incentivaram o Departamento de Zootecnia a adequar os seus passivos ambientais diante do Código Florestal. Para isso, os pastos que anteriormente ocupavam irregularmente as APPs foram substituídos por reflorestamentos, sem que houvesse comprometimento na produtividade da pecuária de corte e leite bovina. Em linhas gerais, esse estudo de caso auxiliou para desmistificar o conflito histórico entre a produção agropecuária e a preservação ambiental, argumento que impede o cumprimento da legislação ambiental por alguns produtores no meio rural brasileiro (IGARI e PIVELLO, 2011; RODRIGUES et al., 2016).

Diante desse panorama, entende-se que quando apropriadamente efetivado, o Código Florestal pode auxiliar grandemente no aumento da eficiência do uso do solo no Brasil, garantindo a manutenção dos serviços ecossistêmicos e o incremento na produção agropecuária de diversas atividades, corroborando com a convicção de pesquisadores que estudaram a temática ao longo dos anos (SPAROVEK et al., 2010; VIDAL et al., 2014; LATAWIEC et al., 2015; ALVES-PINTO et al., 2017). Esses autores apontam, essencialmente, que os ganhos em produtividade estão associados ao uso mais eficiente dos locais produtivos em conciliação com as áreas naturais, sejam reflorestamentos ou remanescentes de vegetação nativa. Ou seja, a intensificação de áreas de alta aptidão agrícola associada a tecnificação do sistema produtivo promovem a ascensão da produtividade agropecuária, sem que haja a necessidade de persistência dos passivos ambientais (LAPOLA et al., 2010; DIAS-FILHO, 2014; VIDAL et al., 2016).

Em vista disso, em linhas gerais, a capacidade produtiva de uma área não está diretamente relacionada ao seu tamanho, mas sim com o sistema de manejo adotado pelo produtor rural em sua propriedade. Validando, assim, o histórico observado no estudo de caso do Departamento de Zootecnia da ESALQ, cuja produtividade de bovinos de leite e corte foi alavancada após a ocupação das pastagens irregulares por vegetação nativa em processo de restauração florestal. Logo, a intensificação do sistema produtivo por meio do aumento do número de animais por unidade de área, criação dos rebanhos em pastos eficientes manejados e oferta de fontes de alimentos complementares (à exemplo, silo, farelo e ração) permitiram a sustentabilidade produtiva e ambiental do Departamento de Zootecnia do *campus* “Luiz de

Queiroz”. Esse horizonte ratifica as pesquisas recentes a respeito dos benefícios das práticas de intensificação para compatibilização da produção agropecuária com a proteção de áreas nativas em escala nacional, bem como a eficácia da restauração florestal em pastagens degradadas diante do Código Florestal (BUSTAMANTE et al., 2012; LATAWIEC et al., 2015; SILVA et al., 2017; SANTOS et al., 2021).

No entanto, pouco se sabe a respeito da situação ambiental e legal das áreas agrícolas externas cujo Departamento adquire a suplementação alimentar dos bovinos. Nesse contexto, a produção de grãos e forragens demandam igualmente área produtiva e, conseqüentemente, estão sujeitas a aplicação do Código Florestal. Por isso, é precoce e arriscado afirmar que somente a tecnificação das pastagens do *campus* propiciaram benefícios produtivos para o Departamento de Zootecnia.

#### **4.2.2. Formação profissional**

Somadas às contribuições ambientais e produtivas, os reflorestamentos associados ao PAA do *campus* da ESALQ também foram importantes agentes de desenvolvimento profissional do *campus*, ajudando, por meio da integração teórico-prática, na capacitação qualificada e formação profissional de discentes comprometidos ambientalmente. Esse resultado efetiva a intenção do Plano Diretor Participativo do *campus* “Luiz de Queiroz” em intensificar a formação educativa e socioambiental de estudantes de graduação, aproximando a grade curricular à realidade social, econômica e ambiental do país (COOPER, 2005; COOPER, 2009).

Assim, o PAA auxiliou diretamente para que o *campus* “Luiz de Queiroz” se tornasse referência em educação socioambiental para as demais universidades de ciências agrárias do Brasil. Para isso, integrou as dimensões de ensino, pesquisa e extensão para que os futuros profissionais fossem capazes de refletir e atuar sobre a construção da sustentabilidade no meio rural, incorporando estratégias de conciliação entre a produção agropecuária, recuperação de paisagens naturais e fomento de bem-estar social. Para isso, possibilitou que os discentes se envolvessem diretamente nas atividades teórico-práticas de planejamento, implantação, manutenção e monitoramentos das áreas em processo de restauração ecológica pertencentes ao PAA da instituição.





## 5. CONCLUSÃO

O cumprimento do Código Florestal pelo *campus* “Luiz de Queiroz”, por meio das ações de restauração ecológica desenvolvidas pelo Plano de Adequação Ambiental da ESALQ, proveu à instituição e aos seus stakeholders benefícios ambientais e socioeconômicos. Garantindo, então, o resgate da multifuncionalidade das paisagens florestais por meio da conservação da biodiversidade, recuperação de serviços ecossistêmicos, produção agropecuária e formação técnico-científica do corpo discente.

No entanto, além dos incentivos e esforços para fomentar o aumento da cobertura vegetal nativa no *campus* “Luiz de Queiroz”, faz-se necessário, concomitantemente, ações para redução das emissões de gases de efeito estufa pelo *campus* da ESALQ/USP. A fim de neutralizar as atividades desenvolvidas na área de estudo, em especial da pecuária.

Finalmente, a regularização ambiental e agrícola como instrumento de gestão do imóvel rural, quando adequadamente aplicado, proporciona a resolução de inconformidades legais e fomenta a seleção de eficientes metodologias a serem adotadas, propiciando ganhos ecológicos, econômicos e sociais. Dessa forma, faz-se necessária constante avaliação para possível aplicação de práticas complementares a fim de garantir a sustentabilidade ambiental e socioeconômica dos locais em processo de restauração e de seu entorno imediato.



## REFERÊNCIAS

ACHARD, F. et al. Tropical forest cover monitoring in the humid tropics-TREES project. **Tropical Ecology**, v. 43, n. 1, p. 9-20, 2002.

AIDE, T. Mitchell et al. Forest regeneration in a chronosequence of tropical abandoned pastures: implications for restoration ecology. **Restoration Ecology**, v. 8, n. 4, p. 328-338, 2000.

ALMEIDA, Jalcione. **A construção social de uma nova agricultura: tecnologia agrícola e movimentos sociais no sul do Brasil**. Editora da Universidade Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

ALMEIDA, Danilo Roberti Alves de et al. The effectiveness of lidar remote sensing for monitoring forest cover attributes and landscape restoration. **Forest Ecology and Management**, v. 438, p. 34-43, 2019.

ALVES-PINTO, Helena N. et al. Reconciling rural development and ecological restoration: strategies and policy recommendations for the Brazilian Atlantic Forest. **Land Use Policy**, v. 60, p. 419-426, 2017.

BATISTA, Evandro et al. Large-scale pasture restoration may not be the best option to reduce greenhouse gas emissions in Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 12, p. 125009, 2019.

BAUDRON, Frédéric; GILLER, Ken E. Agriculture and nature: trouble and strife? **Biological Conservation**, v. 170, p. 232-245, 2014.

BENAYAS, José M. Rey; BULLOCK, James M. Restoration of biodiversity and ecosystem services on agricultural land. **Ecosystems**, v. 15, n. 6, p. 883-899, 2012.

BELLOTO, Andrezza et al. Monitoramento das áreas restauradas como ferramenta para avaliação da efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica. In: RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; BRANCALION, Pedro Henrique Santin; ISERNHAGEN, Ingo. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração floresta**. São Paulo: Instituto Bioatlântica, 2009.

BERNAL, Blanca; MURRAY, Lara T.; PEARSON, Timothy RH. Global carbon dioxide removal rates from forest landscape restoration activities. **Carbon balance and management**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2018.

BIGGS, Trent W. et al. The Brazilian Forest Code and riparian preservation areas: spatiotemporal analysis and implications for hydrological ecosystem services. **Regional Environmental Change**, v. 19, n. 8, p. 2381-2394, 2019.

BONAN, Gordon B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1444-1449, 2008.

BRANCALION, Pedro Henrique S. et al. Legal instruments can enhance high-diversity tropical forest restoration. **Revista Árvore**, v. 34, n. 3, p. 455-470, 2010.

BRANCALION, Pedro Henrique S. et al. The Atlantic Forest Restoration Pact - A major effort by Brazilian Society to restore and transform its most threatened Biome. **Contribution of Ecosystem Restoration to the Objectives of the CBD and a Healthy Planet for All People**, p. 24, 2012.

BRANCALION, Pedro Henrique S. et al. A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. **Natureza & Conservação**, v. 14, p. 1-15, 2016.

BRANCALION, Pedro Henrique S.; CHAZDON, Robin L. Beyond hectares: four principles to guide reforestation in the context of tropical forest and landscape restoration. **Restoration Ecology**, v. 25, n. 4, p. 491-496, 2017.

BRANCALION, Pedro Henrique S. et al. Maximizing biodiversity conservation and carbon stocking in restored tropical forests. **Conservation Letters**, v. 11, n. 4, p. e12454, 2018.

BRASIL. Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Disponível em: <  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/14771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/14771.htm)>. Acesso em: 24 fev. 21.

BROADBENT et al. The GatorEye Unmanned Flying Laboratory: sensor fusion for 4D ecological analysis through custom hardware and algorithm integration. 2020. Disponível em: <http://www.speclab.org/gatoreye.html>. Acesso em: 03 ago. 2021.

BROWN, Sandra; LUGO, Ariel E. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, p. 1-32, 1990.

BULLOCK, James M. et al. Restoration of ecosystem services and biodiversity: conflicts and opportunities. **Trends in ecology & evolution**, v. 26, n. 10, p. 541-549, 2011.

BURNETT, Kimberly M. et al. Restoring to the future: Environmental, cultural, and management trade-offs in historical versus hybrid restoration of a highly modified ecosystem. **Conservation Letters**, v. 12, n. 1, p. e12606, 2019.

BUSTAMANTE, Mercedes M. C. et al. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. **Climatic change**, v. 115, n. 3, p. 559-577, 2012.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia. **PIB do Agronegócio**. Disponível em: [https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea\\_PIB\\_CNA\\_2019\(1\).pdf](https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_PIB_CNA_2019(1).pdf). Acesso em: 10 mar. 2021.

CERRI, Carlos Clemente et al. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 831-843, 2009.

CERRI, Carlos Clemente et al. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 102-116, 2010.

COOPER, Margi Stone; EVANS, Randy. New agriculture curriculum incorporates ebooks and talking text. **Agricultural education magazine**, v. 78, n. 2, p. 14, 2005.

COOPER, Miguel et al. **Plano Diretor Socioambiental Participativo do Campus “Luiz de Queiroz”**, v. 1, n. 03, p. 2010, 2009.

COOPER, Miguel et al. **Relatório de revisão do Plano Diretor Socioambiental Participativo do campus “Luiz de Queiroz”**. Piracicaba, 2013. Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/gestao-socioambiental/sites/default/files/Plano-Diretor-Ambiental-LQ-2a-revisao-2018.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 21.

COSTA, Steve de Oliveira. **Efetividade ambiental e socioeconômica de 20 anos de um Programa de Adequação Ambiental e Agrícola (LERF/ESALQ/USP) na Mata Atlântica (São Paulo, Brasil)**. 2019. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

CHAVE, Jérôme et al. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. **Ecological applications**, v. 16, n. 6, p. 2356-2367, 2006.

CHAZDON, Robin L. Tropical Forest Regeneration. **Encyclopedia Of Biodiversity**, p.277-286, 2013.

CHAZDON, Robin L. et al. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. **Science Advances**, v. 2, n. 5, p. e1501639, 2016.

CHAZDON, Robin L. Landscape restoration, natural regeneration, and the forests of the Future1. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 102, n. 2, p. 251-257, 2017.

CHAZDON, Robin L. Towards more effective integration of tropical forest restoration and conservation. **Biotropica**, v. 51, n. 4, p. 463-472, 2019.

CROUZEILLES, Renato et al. A global meta-analysis on the ecological drivers of forest restoration success. **Nature communications**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2016.

CROUZEILLES, Renato et al. Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. **Science advances**, v. 3, n. 11, p. e1701345, 2017.

DEB, Sanjit K.; SHUKLA, Manoj K. Variability of hydraulic conductivity due to multiple factors. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 8, n. 5, p. 489, 2012.

DIAS-FILHO, M. B. Recuperação de pastagens degradadas na Amazônia: desafios, oportunidades e perspectivas. **Políticas agroambientais e sustentabilidade: desafios, oportunidades e lições aprendidas**. Brasília, DF: IPEA, p. 149-169, 2014.

DYDERSKI, Marcin K.; JAGODZIŃSKI, Andrzej M. Impact of invasive tree species on natural regeneration species composition, diversity, and density. **Forests**, v. 11, n. 4, p. 456, 2020.

DURST, Patrick B. et al. Forests beneath the grass. Proceedings of the Regional workshop on advancing the application of assisted natural regeneration for effective low-cost restoration, Bohol, Philippines, 19-22 May 2009. **RAP Publication**, n. 2010/11, 2011.

DUTRA, Mara Maria et al. Ações de educação superior no Baixo Araguaia/MT: O curso de agronomia e a sustentabilidade na agricultura familiar. **Revista ESPACIOS**, vol. 37 n. 08, p. 2, 2016.

EDRISI, Sheikh Adil; ABHILASH, Purushothaman Chirakkuzhyil. Need of transdisciplinary research for accelerating land restoration during the UN Decade on Ecosystem Restoration. **Restoration Ecology**, p. e13531, 2021.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2018.

ERBAUGH, James T.; OLDEKOP, Johan A. Forest landscape restoration for livelihoods and well-being. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 32, p. 76-83, 2018.

FIGUEIREDO, Eduardo Barretto de et al. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 420-431, 2017.



FILOSO, Solange et al. Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. **PloS one**, v. 12, n. 8, p. e0183210, 2017.

FISCHER, Joern et al. Tree decline and the future of Australian farmland biodiversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 107, n. 45, p. 19597-19602, 2010.

FRIEDLINGSTEIN, Pierre et al. Comment on “The global tree restoration potential”. **Science**, v. 366, n. 6463, 2019.

GAGELER, Rose et al. Early response of soil properties and function to riparian rainforest restoration. **PLoS One**, v. 9, n. 8, p. e104198, 2014.

GALLER, Carolin; VON HAAREN, Christina; ALBERT, Christian. Optimizing environmental measures for landscape multifunctionality: Effectiveness, efficiency and recommendations for agri-environmental programs. **Journal of Environmental Management**, v. 151, p. 243-257, 2015.

GAMA, Verônica F. et al. Site selection for restoration planning: A protocol with landscape and legislation based alternatives. **Natureza & Conservação**, p. 158-169, 2013.

GANN, George D. et al. International principles and standards for the practice of ecological restoration. **Restoration Ecology**, v. 27, n. S1, p. S1-S46, 2019.

GARDON, Fernando Ravanini; SANTOS, Rozely Ferreira dos; RODRIGUES, Ricardo Ribeiro. Brazil's forest restoration, biomass and carbon stocks: A critical review of the knowledge gaps. **Serviços ecossistêmicos de carbono, composição e estrutura florestal em uma cronosequência de plantios de restauração**, p. 9, 2020.

GARRETT, Rachael D. et al. Intensification in agriculture-forest frontiers: Land use responses to development and conservation policies in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 53, p. 233-243, 2018.

GERMER, Sonja et al. Influence of land-use change on near-surface hydrological processes: undisturbed forest to pasture. **Journal of hydrology**, v. 380, n. 3-4, p. 473-480, 2010.

GLIESSMAN, Stephen R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2009.

HANSEN, Matthew C. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013.

HAO, Mingzhuo et al. Impacts of changes in vegetation on saturated hydraulic conductivity of soil in subtropical forests. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2019.

HOBBS, Richard J.; HUENNEKE, Laura F. Disturbance, diversity, and invasion: implications for conservation. **Conservation biology**, v. 6, n. 3, p. 324-337, 1992.

IGARI, Alexandre T.; PIVELLO, Vânia R. Crédito rural e código florestal: irmãos como Caim e Abel?. **Ambiente & Sociedade**, v. 14, p. 133-150, 2011.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. **Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan, 2006.**

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Global warming of 1.5° C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5° C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty**. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018.

ISERNHAGEN, Ingo et al. Diagnóstico ambiental das áreas a serem restauradas visando a definição de metodologias de restauração florestal. In: RODRIGUES, Ricardo Ribeiro et al. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009. p. 87-126.

JOLY, Carlos A.; METZGER, Jean Paul; TABARELLI, Marcelo. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p. 459-473, 2014.

KIERS, E. Toby et al. Agriculture at a crossroads. **Science**, v. 320, n. 5874, p. 320, 2008.

LAPOLA, David M. et al. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. **Proceedings of the national Academy of Sciences**, v. 107, n. 8, p. 3388-3393, 2010.

LASSABATERE, Laurent et al. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments—BEST. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 2, p. 521-532, 2006.

LATAWIEC, Agnieszka E. et al. Creating space for large-scale restoration in tropical agricultural landscapes. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 4, p. 211-218, 2015.

LAURANCE, William F.; SAYER, Jeffrey; CASSMAN, Kenneth G. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 29, n. 2, p. 107-116, 2014.

LE, Hai Dinh et al. More than just trees: assessing reforestation success in tropical developing countries. **Journal of Rural Studies**, v. 28, n. 1, p. 5-19, 2012.

LE QUÉRÉ, Corinne et al. Global carbon budget 2013. **Earth System Science Data**, v. 6, n. 1, p. 235-263, 2014.

LEITE, Pedro A. M. et al. The influence of forest regrowth on soil hydraulic properties and erosion in a semiarid region of Brazil. **Ecohydrology**, v. 11, n. 3, p. e1910, 2018.

LOPES, Vanessa Schiavon et al. The establishment of a secondary forest in a degraded pasture to improve hydraulic properties of the soil. **Soil and Tillage Research**, v. 198, p. 104538, 2020.

LOZANO-BAEZ, Sergio E. et al. Previous land use affects the recovery of soil hydraulic properties after forest restoration. **Water**, v. 10, n. 4, p. 453, 2018.

LOZANO-BAEZ, Sergio E. et al. Land restoration by tree planting in the tropics and subtropics improves soil infiltration, but some critical gaps still hinder conclusive results. **Forest Ecology and Management**, v. 444, p. 89-95, 2019.

MAFRA, Rivaldo Chagas. Formação e atuação do Engenheiro Agrônomo: Uma abordagem conceitual. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 10, p.117-119, 2015.

MANGUEIRA, Julia Raquel S. A.; HOLL, Karen; RODRIGUES, Ricardo R. Enrichment planting to restore degraded tropical forest fragments in Brazil. **Ecosystems and People**, v. 15, n. 1, p. 3-10, 2019.

MARTINEZ, L. J.; ZINCK, J. A. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. **Soil and Tillage Research**, v. 75, n. 1, p. 3-18, 2004.

MATRICARDI, Eraldo Aparecido Trondoli et al. Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 369, n. 6509, p. 1378-1382, 2020.

MAZZETTO, A. M. et al. Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. **Livestock Science**, v. 175, p. 101-112, 2015.

MELI, Paula et al. Four approaches to guide ecological restoration in Latin America. **Restoration Ecology**, v. 25, n. 2, p. 156-163, 2017.

METZGER, M.J. et al. The vulnerability of ecosystem services to land use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 114, n. 1, p. 69-85, 2006.

MONGIL-MANSO, Jorge; NAVARRO-HEVIA, Joaquín; SAN MARTÍN, Roberto. Does forest restoration influence soil infiltrability? A case study in the restored woodland of Sierra de Ávila (Central Spain). **Journal of Mountain Science**, v. 18, n. 7, p. 1778-1793, 2021.

NAVE, André G. et al. Descrição das ações operacionais de restauração. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF, p. 176-218, 2009.

NEWTON, Peter; ALVES-PINTO, Helena Nery; PINTO, Luís Fernando Guedes. Certification, forest conservation, and cattle: theories and evidence of change in Brazil. **Conservation Letters**, v. 8, n. 3, p. 206-213, 2015.

NIEMEYER, Julia et al. Planning forest restoration within private land holdings with conservation co-benefits at the landscape scale. **Science of the Total Environment**, v. 717, p. 135262, 2020.

NTU RANKING - Performance Ranking of Scientific Papers for World Universities. **World University Rankings - Agriculture**. Disponível em:

<http://nturanking.csti.tw/ranking/OverallRanking/>. Acesso em: 24 out. 2020.

PAULE-MERCADO, M.A. et al. Influence of land development on stormwater runoff from a mixed land use and land cover catchment. **Science of the Total Environment**, v. 599, p. 2142-2155, 2017.

PENDRILL, Florence et al. Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions. **Global Environmental Change**, v. 56, p. 1-10, 2019.

PEREIRA, Nayana Alves et al. Does the Process of Passive Forest Restoration Affect the Hydrophysical Attributes of the Soil Superficial Horizon?. **Water**, v. 12, n. 6, p. 1689, 2020.

PINTO, Severino R. et al. Governing and delivering a biome-wide restoration initiative: The case of Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. **Forests**, v. 5, n. 9, p. 2212-2229, 2014.

PHILIPSON, Christopher D. et al. Active restoration accelerates the carbon recovery of human-modified tropical forests. **Science**, v. 369, n. 6505, p. 838-841, 2020.

POORTER, Lourens et al. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530, n. 7589, p. 211-214, 2016.

POSSINGHAM, Hugh P.; BODE, Michael; KLEIN, Carissa J. Optimal conservation outcomes require both restoration and protection. **Plos Biology**, v. 13, n. 1, p. e1002052, 2015.

QGIS Development Team, 2021. QGIS: Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

R core Team, 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

RASERA, Susane. **Biomassa e carbono no estrato arbóreo em área restaurada de Mata Atlântica**. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

REFLORA, Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Flora do Brasil 2020**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 02 out. 21.

REGELINK, Inge C. et al. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. **Geoderma**, v. 247, p. 24-37, 2015.

REIS, Tiago et al. **Desafios e oportunidades para avançar as contribuições nacionais no setor agropecuário e de florestas na América Latina: o caso do Brasil**. Relatório de pesquisa. Belém: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2017.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro et al. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1605-1613, 2011.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; GANDOLFI, Sergius; BRANCALION, Pedro Henrique Santin. **Restauração florestal**. Oficina de Textos, 2015.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro et al. Adequação Ambiental e Agrícola: cumprimento da Lei de Proteção da Vegetação Nativa dentro do conceito de paisagens multifuncionais. In: SILVA, Ana Paula Moreira da; MARQUES, Henrique Rodrigues; SAMBUICHI, Regina Helena Rosa. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2016.

ROTHER, Debora C. et al. How legal-oriented restoration programs enhance landscape connectivity? Insights from the Brazilian Atlantic Forest. **Tropical Conservation Science**, v. 11, p. 1940082918785076, 2018.

SANTOS, Juliana Silveira dos et al. Technification in dairy farms may reconcile habitat conservation in a Brazilian savanna region. **Sustainability**, v. 13, n. 10, p. 5606, 2021.

SAPKOTA, R. P.; STAHL, P. D.; RIJAL, K. Restoration governance: An integrated approach towards sustainably restoring degraded ecosystems. **Environmental Development**, v. 27, p. 83-94, 2018.

SCHLINDWEIN, Marcelo Nivert. Curso superior especial para assentamentos da reforma agrária: agronomia com ênfase em agroecologia e sistemas rurais sustentáveis, uma proposta INCRA-PRONERA/UFSCar. **Agrária (São Paulo. Online)**, n. 7, p. 119-155, 2007.

SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Total emissions by sector**. 2019. Disponível em: [https://plataforma.seeg.eco.br/total\\_emission](https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission). Acesso em: 02 fev. 2021.

SEIBERT, Jan; MCDONNELL, Jeffrey J. Land-cover impacts on streamflow: a change-detection modelling approach that incorporates parameter uncertainty. **Hydrological Sciences Journal–Journal des Sciences Hydrologiques**, v. 55, n. 3, p. 316-332, 2010.

SHACKELFORD, Nancy et al. Primed for change: developing ecological restoration for the 21st century. **Restoration Ecology**, v. 21, n. 3, p. 297-304, 2013.

SHVIDENKO, A.; BARBER, C. V.; PERSSON, R. Forest and Woodland Systems. In: HASSAN, R.; SCHOLLES, R.; ASH, N. (Ed.). **Ecosystems and human well-being: current state and trends**. 2005. Washington: Millennium Ecosystem Assessment, 2005, v. 1, p.585-621.

SILVA, Rafael de Oliveira et al. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural systems**, v. 153, p. 201-211, 2017.

SLAVIK, Milan. Changes and trends in secondary agricultural education in the Czech Republic. **International journal of educational development**, v. 24, n. 5, p. 539-545, 2004.

SMITH, Pete et al. How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals? **Global Change Biology**, v. 19, n. 8, p. 2285-2302, 2013.

SONCINI, Alessandra; PIERINI, Alexandre José; GALLO, Zildo. A compreensão dos alunos ao primeiro ano o curso de Agronomia a Uniara sobre Agroecologia: Uma Análise do presente e perspectivas de futuro. **Retratos de Assentamentos**, v. 19, n. 2, p. 294-314, 2016.

SOUZA, Zigomar M. de; ALVES, Marlene C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 18-23, 2003.

SPAROVEK, Gerd et al. Brazilian Agriculture and Environmental Legislation: status and future challenges. **Environmental Science & Technology**, [S.L.], v. 44, n. 16, p. 6046-6053, 16 jul. 2010.

STRASSBURG, Bernardo Baeta Neves et al. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 84-97, 2014.

STRASSBURG, Bernardo Baeta Neves et al. Global priority areas for ecosystem restoration. **Nature**, v. 586, n. 7831, p. 724-729, 2020.



SUAREZ, Daniela R. et al. Estimating aboveground net biomass change for tropical and subtropical forests: Refinement of IPCC default rates using forest plot data. **Global Change Biology**, v. 25, n. 11, p. 3609-3624, 2019.

TABARELLI, Marcelo et al. A conversão da floresta atlântica em paisagens antrópicas: lições para a conservação da diversidade biológica das florestas tropicais. **Interciencia**, v. 37, n. 2, p. 88-92, 2012.

TAMBOSI, Leandro Reverberi et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos Avançados**, v. 29, p. 151-162, 2015.

TAYLOR, Peter; MULHALL, Abigail. Linking learning environments through agricultural experience — enhancing the learning process in rural primary schools. **International Journal Of Educational Development**, v. 21, n. 2, p.135-148, jan. 2001.

TEIXEIRA, Ana Maria G. et al. Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: implications for conservation. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 4, p. 1219-1230, 2009.

TELOCKEN, Suelen Geíse; TRINDADE, Nathália Rigui. Educação para a sustentabilidade. **Revista do Seminário de Educação de Cruz Alta-RS**, v. 5, n. 1, p. 43-44, 2017.

TEMPERTON, Vicky M. et al. Step back from the forest and step up to the Bonn Challenge: how a broad ecological perspective can promote successful landscape restoration. **Restoration Ecology**, v. 27, n. 4, p. 705-719, 2019.

TORRES, Daniel Henrique Alves et al. improving water sustainability through modeling optimum sites for riparian forest reforestation. **Water**, v. 13, n. 1, p. 46, 2021.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, v. 10, p. 67-75, 2010.

UNFCCC - PARIS AGREEMENT. Paris Agreement. In: **Report of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (21st Session, 2015: Paris)**. Retrived December. v. 4, p. 2017, 2015.

VIANI, Ricardo Augusto Gorne et al. A new focus for ecological restoration: management of degraded forest remnants in fragmented landscapes. **GPL News November**, p. 5-9, 2015.

VIANI, Ricardo Augusto Gorne et al. Protocol for monitoring tropical forest restoration: perspectives from the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p. 1940082917697265, 2017.

VIDAL, Cristina Yuri et al. Adequação ambiental de propriedades rurais e restauração florestal: 14 anos de experiência e novas perspectivas. **Políticas Agroambientais e Sustentabilidade: desafios, oportunidades e lições aprendidas. IPEA, Brasília, 2014.**

VIDAL, Cristina Yuri et al. Biodiversity conservation of forests and their ecological restoration in highly-modified landscapes. In: **Biodiversity in agricultural landscapes of Southeastern Brazil**. De Gruyter Open Poland, p. 136-150, 2016.



## ANEXO

Lista de espécies encontradas nas parcelas amostrais de restauração ativa na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no município de Piracicaba-SP.

Família	Nome científico	Origem (REFLORA, 2020)
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Cultivada
Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Nativa
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Nativa
Anacardiaceae	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	Nativa
Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	Nativa
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Nativa
Anacardiaceae	<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	Nativa
Apocynaceae	<i>Aspidosperma olivaceum</i> Müll.Arg.	Nativa
Apocynaceae	<i>Aspidosperma ramiflorum</i> Müll.Arg.	Nativa
Apocynaceae	<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.	Nativa
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana catharinensis</i> A.DC.	Nativa
Apocynaceae	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	Nativa
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana laeta</i> Mart.	Nativa
Araliaceae	<i>Dendropanax cuneatus</i> (DC.) Decne. & Planch.	Nativa
Areaceae	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Nativa
Asteraceae	<i>Vernonanthura</i> H.Rob.	Nativa
Asteraceae	<i>Moquiniastrum polymorphum</i> (Less.) G. Sancho	Nativa
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Nativa
Bignoniaceae	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	Nativa
Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Cultivada
Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	Naturalizada
Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Nativa
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Cultivada
Bignoniaceae	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.	Nativa
Bignoniaceae	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	Nativa
Bignoniaceae	<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	Nativa
Boraginaceae	<i>Cordia myxa</i> L.	Cultivada
Boraginaceae	<i>Cordia superba</i> Cham.	Nativa
Boraginaceae	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S.Mill.	Nativa
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	Nativa
Boraginaceae	<i>Myriopus rubicundus</i> (Salzm. ex DC.) Luebert	Nativa
Boraginaceae	<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	Nativa
Burseraceae	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Nativa
Calophyllaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	Nativa
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Nativa
Cannabaceae	<i>Celtis brasiliensis</i> (Gardner) Planch.	Nativa
Caricaceae	<i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) A.DC.	Nativa

Chrysobalanaceae	<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	Nativa
Clusiaceae	<i>Garcinia gardneriana</i> (Planch. & Triana) Zappi	Nativa
Combretaceae	<i>Terminalia triflora</i> (Griseb.) Lillo	Nativa
Combretaceae	<i>Terminalia glabrescens</i> Mart.	Nativa
Ebenaceae	<i>Diospyros inconstans</i> Jacq.	Nativa
Euphorbiaceae	<i>Joannesia princeps</i> Vell.	Nativa
Euphorbiaceae	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	Nativa
Euphorbiaceae	<i>Croton urucurana</i> Baill.	Nativa
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	Nativa
Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Nativa
Fabaceae	<i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) Schrad. ex DC.	Nativa
Fabaceae	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	Nativa
Fabaceae	<i>Inga vera</i> Willd.	Nativa
Fabaceae	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz	Nativa
Fabaceae	<i>Pterocarpus rohrii</i> Vahl	Nativa
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Nativa
Fabaceae	<i>Dahlstedtia muehlbergiana</i> (Hassl.) M.J.Silva & A.M.G.Azevedo	Nativa
Fabaceae	<i>Inga marginata</i> Willd.	Nativa
Fabaceae	<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	Nativa
Fabaceae	<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Benth.	Nativa
Fabaceae	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Nativa
Fabaceae	<i>Bauhinia forficata</i> Link	Nativa
Fabaceae	<i>Cenostigma pluviosum</i> (DC.) Gagnon & G.P.Lewis	Nativa
Fabaceae	<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth.	Nativa
Fabaceae	<i>Holocalyx balansae</i> Micheli	Nativa
Fabaceae	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Nativa
Fabaceae	<i>Dalbergia frutescens</i> (Vell.) Britton	Nativa
Fabaceae	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Nativa
Fabaceae	<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel	Nativa
Fabaceae	<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze	Nativa
Fabaceae	<i>Bauhinia longifolia</i> (Bong.) Steud.	Nativa
Fabaceae	<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	Nativa
Fabaceae	<i>Cyclolobium brasiliense</i> Benth.	Nativa
Fabaceae	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Naturalizada
Fabaceae	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	Nativa
Fabaceae	<i>Lonchocarpus cultratus</i> (Vell.) A.M.G.Azevedo & H.C.Lima	Nativa
Fabaceae	<i>Centrolobium robustum</i> (Vell.) Mart. ex Benth.	Nativa
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Nativa
Fabaceae	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	Nativa
Fabaceae	<i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Poir.	Nativa
Fabaceae	<i>Machaerium stipitatum</i> Vogel	Nativa
Fabaceae	<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.	Nativa
Fabaceae	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Nativa
Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	Nativa
Fabaceae	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	Nativa

Fabaceae	<i>Leucochloron incuriale</i> (Vell.) Barneby & J.W.Grimes	Nativa
Fabaceae	<i>Cassia fistula</i> L.	Nativa
Fabaceae	<i>Senna pendula</i> (Humb.& Bonpl.ex Willd.) H.S.Irwin & Barneby	Nativa
Fabaceae	<i>Erythrina speciosa</i> Andrews	Nativa
Fabaceae	<i>Senegalia</i> Raf.	Nativa
Fabaceae	<i>Sesbania marginata</i> Benth.	Nativa
Fabaceae	<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.	Nativa
Fabaceae	<i>Muelleria campestris</i> (Mart. ex Benth.) M.J. Silva & A.M.G. Azevedo	Nativa
Fabaceae	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	Nativa
Fabaceae	<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A.Howard	Nativa
Fabaceae	<i>Erythrina velutina</i> Willd.	Nativa
Fabaceae	<i>Machaerium villosum</i> Vogel	Nativa
Lamiaceae	<i>Tectona grandis</i> L.f.	Cultivada
Lamiaceae	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	Nativa
Lamiaceae	<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	Nativa
Lauraceae	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Nativa
Lauraceae	<i>Ocotea velutina</i> (Nees) Rohwer	Nativa
Lecythidaceae	<i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze	Nativa
Lecythidaceae	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	Nativa
Lythraceae	<i>Lafoensia glyptocarpa</i> Koehne	Nativa
Lythraceae	<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	Nativa
Malvaceae	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	Nativa
Malvaceae	<i>Pterygota brasiliensis</i> Allemão	Nativa
Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i> Mart.	Nativa
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Nativa
Malvaceae	<i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Cav.) A.Robyns	Nativa
Malvaceae	<i>Helicteres ovata</i> Lam.	Nativa
Malvaceae	<i>Heliocarpus popayanensis</i> Kunth	Nativa
Malvaceae	<i>Luehea grandiflora</i> Mart.	Nativa
Malvaceae	<i>Sterculia striata</i> A.St.-Hil. & Naudin	Nativa
Malvaceae	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	Nativa
Meliaceae	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	Nativa
Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i> Vahl	Nativa
Meliaceae	<i>Trichilia claussenii</i> C.DC.	Nativa
Meliaceae	<i>Trichilia pallida</i> Sw.	Nativa
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Nativa
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Nativa
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i> L.	Naturalizada
Moraceae	<i>Ficus guaranitica</i> Chodat	Nativa
Moraceae	<i>Ficus</i> L.	Nativa
Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Nativa
Moraceae	<i>Ficus insipida</i> Willd.	Nativa
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Nativa
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	Naturalizada
Myrtaceae	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Naturalizada

Myrtaceae	<i>Eugenia florida</i> DC.	Nativa
Myrtaceae	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	Nativa
Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	Nativa
Myrtaceae	<i>Eugenia paracatuana</i> O.Berg	Nativa
Myrtaceae	<i>Psidium guineense</i> Sw.	Nativa
Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	Nativa
Myrtaceae	<i>Myrcia selloi</i> (Spreng.) N.Silveira	Nativa
Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i> L'Hér.	Naturalizada
Phytolaccaceae	<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	Nativa
Phytolaccaceae	<i>Seguiera langsdorffii</i> Moq.	Nativa
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca dioica</i> L.	Nativa
Piperaceae	<i>Piper amalago</i> L.	Nativa
Piperaceae	<i>Piper aduncum</i> L.	Nativa
Polygonaceae	<i>Ruprechtia laxiflora</i> Meisn.	Nativa
Polygonaceae	<i>Triplaris gardneriana</i> Wedd.	Nativa
Polygonaceae	<i>Triplaris americana</i> L.	Nativa
Primulaceae	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Nativa
Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	Nativa
Primulaceae	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Nativa
Primulaceae	<i>Myrsine</i> L.	Nativa
Rhamnaceae	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek	Nativa
Rhamnaceae	<i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	Nativa
Rhamnaceae	<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.	Naturalizada
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Naturalizada
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i> L.	Nativa
Rubiaceae	<i>Randia armata</i> (Sw.) DC.	Nativa
Rutaceae	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	Nativa
Rutaceae	<i>Esenbeckia leiocarpa</i> Engl.	Nativa
Rutaceae	<i>Metrodorea nigra</i> A.St.-Hil.	Nativa
Rutaceae	<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Nativa
Rutaceae	<i>Esenbeckia febrifuga</i> (A.St.-Hil.) A. Juss. ex Mart.	Nativa
Rutaceae	<i>Helietta apiculata</i> Benth.	Nativa
Rutaceae	<i>Zanthoxylum riedelianum</i> Engl.	Nativa
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Nativa
Rutaceae	<i>Citrus</i> L.	Naturalizada
Rutaceae	<i>Zanthoxylum caribaeum</i> Lam.	Nativa
Salicaceae	<i>Casearia gossypiosperma</i> Briq.	Nativa
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Nativa
Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i> L.	Nativa
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	Nativa
Sapindaceae	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.	Nativa
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.	Nativa
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.	Nativa
Solanaceae	<i>Acnistus arborescens</i> (L.) Schltdl.	Nativa
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Nativa

Urticaceae	<i>Urera caracasana</i> (Jacq.) Griseb.	Nativa
Verbenaceae	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	Nativa
Verbenaceae	<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	Nativa
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	Naturalizada