

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE  
INFRAESTRUTURA URBANA – MESTRADO**

**RODRIGO SEMERIA RUSCHEL**

**SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS URBANOS:  
FIXAÇÃO DE CARBONO NAS ÁREAS DE  
PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE CAMPINAS-SP**

**CAMPINAS**

**2016**

**RODRIGO SEMERIA RUSCHEL**

**SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS URBANOS:  
FIXAÇÃO DE CARBONO NAS ÁREAS DE  
PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE CAMPINAS-SP**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.

**Orientador:** Prof. Antônio Carlos Demanboro

**PUC-CAMPINAS**

**2016**

Ficha Catalográfica  
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e  
Informação - SBI - PUC-Campinas

t634.956  
R951s

Ruschel, Rodrigo Semeria.

Serviços ecossistêmicos urbanos: fixação de carbono nas áreas de preservação permanente de Campinas-SP / Rodrigo Semeria Ruschel. - Campinas: PUC-Campinas, 2016.  
90p.

Orientador: Antônio Carlos Demanboro.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Inclui anexo e bibliografia.

1. Reflorestamento. 2. Mercado de emissão de carbono. 3. Ecossistemas. 4. Proteção ambiental - Campinas (SP). I. Demanboro, Antônio Carlos. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. III. Título.

22.ed. CDD – t634.956

**RODRIGO SEMERIA RUSCHEL**

**SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS URBANOS:  
FIXAÇÃO DE CARBONO NAS ÁREAS DE  
PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE CAMPINAS-SP**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Demanboro.

Dissertação defendida e aprovada em 21 de dezembro de 2016 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:

---

Prof. Dr. Antônio Carlos Demanboro

Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

---

Profa. Dra. Regina Marcia Longo

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

---

Prof. Dr. Fábio Ricardo Marin

Universidade de São Paulo, Campus Luiz de Queiroz

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu amigo, antes de tudo, e orientador Prof. Antônio Carlos Demanboro, pelas horas de discussão, pelas conversas sobre o destino da humanidade e pela dedicação para comigo.

À Profa. Sueli do Carmo Bettine, pela amizade e pelas lições de vida.

Ao meu colega de Programa Fernando Ribeiro, pela nova amizade e pela ajuda na confecção dos mapas.

A todos os colegas e professores do Programa, pela fantástica experiência na interdisciplinaridade das áreas envolvidas, pelas risadas e pelos sofrimentos.

À Vida, que me presenteou com esta oportunidade única.

## RESUMO

RUSCHEL, R. S. **Serviços ecossistêmicos urbanos: Fixação de carbono nas Áreas de Preservação Permanente de Campinas-SP**. 2016. 90f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2016.

Este trabalho apresenta o potencial de fixação de carbono e provisão de demais serviços ecossistêmicos das Áreas de Preservação Permanente ao longo dos cursos d'água do município de Campinas-SP. Ainda, calculou-se o custo associado ao serviço de fixação de carbono e o quanto o município se beneficiaria ao criar um mercado para os créditos de carbono gerados nos projetos de reflorestamento destas áreas. Foi demonstrado que a comercialização dos créditos cobriria até 46% dos custos de implantação dos projetos. Além da fixação de carbono, a recuperação das APPs ao longo de cursos d'água proporciona serviços ecossistêmicos adicionais ao município, e que se contemplados na análise custo-benefício dos projetos de reflorestamento representam a maior porção dos benefícios totais. Portanto, a inclusão dos benefícios gerados pelos serviços ecossistêmicos adicionais mostrou-se fundamental para tornar a recuperação das APPs economicamente viável.

**Palavras-chave:** Serviços ecossistêmicos; reflorestamento; crédito de carbono; Valoração; Área de Preservação Permanente.

## **ABSTRACT**

RUSCHEL, R. S. **Urban ecosystem services: Carbon sequestration in the Permanent Preservation Areas of Campinas-SP**. 2016. 90f. Dissertation (Masters in Urban Infrastructure Systems) - Post-Graduation Program in Urban Infrastructure Systems, Pontifical Catholic University of Campinas, Campinas, 2016.

This work presents the potential of carbon sequestration and provision of other ecosystem services in the Permanent Preservation Areas along the watercourses of the city of Campinas-SP. Also, the cost associated with the carbon sequestration service was calculated and how much the municipality would benefit from creating a market for the carbon credits generated in the reforestation projects in these areas. It was shown that the commercialization of credits would cover up to 46% of the project implementation costs. In addition to carbon sequestration, the recovery of PPAs along watercourses provides additional ecosystem services to the municipality, which if contemplated in the cost-benefit analysis of reforestation projects represent the largest portion of the total benefits. Therefore, the inclusion of the benefits generated by the additional ecosystem services has proved to be fundamental to make the recovery of PPAs economically viable.

**Key words:** Ecosystem services; reforestation; Carbon credits; Valuation; Permanent Preservation Area.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura conceitual da Avaliação do Milênio dos Ecossistemas.....	20
Figura 2 – Categorização dos serviços ecossistêmicos de acordo com a AM.....	21
Figura 3 - Índice de Área Verde de municípios participantes do Programa Cidades Sustentáveis.....	23
Figura 4 - Parâmetros considerados no mapeamento das Áreas Verdes.....	27
Figura 5 - Mapa das Áreas Verdes de Campinas. ....	28
Figura 6 - Mapa das Áreas Verdes de Campinas de acordo com função atribuída. ....	29
Figura 7 - Mapa das Áreas de Preservação Permanente de Campinas. ....	30
Figura 8 - Variação simulada de fixação de carbono em reflorestamento de mata ciliar.....	31
Figura 9 – Relação entre biomassa total acima do solo com o DAP, conforme a zona climática da floresta.....	34
Figura 10 - Relação entre biomassa seca de florestas tropicais e o diâmetro na altura do peito. ....	36
Figura 11 - Comparação dos valores observados e preditos pela equação de biomassa total (fuste + galhada) em relação ao DAP (cm). BT – biomassa total obtida pela coleta de dados dos indivíduos abatidos; EQ1 – valores de biomassa obtidos pela equação ajustada.....	37
Figura 12 - Partes que assinaram e/ou ratificaram o Acordo de Paris. ....	41
Figura 13 - Áreas de Preservação de Campinas. Considera-se APP urbana aquela inserida no perímetro urbano e APP rural aquela que se encontra fora do perímetro.....	53
Figura 14 – Comparação entre as curvas de fixação de carbono. ....	58
Figura 15 - Curvas de fixação de CO <sub>2</sub> -eq. ....	58
Figura 16 - Compromissos ambientais firmados junto à SVDS em R\$ mil. ....	64
Figura 17 - Total de mudas plantadas pela SVDS. ....	64
Figura 18 - Comparação entre os montantes de cada cenário em APPs urbanas. ....	70
Figura 19 - Comparação entre os montantes de cada cenário em APPs rurais. ...	70
Figura 20 - Comparação entre os montantes de cada cenário em APPs totais....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equações alométricas de regressão para estimativa de biomassa total acima do solo em florestas tropicais de acordo com a zona climática. Y - biomassa total acima do solo (kg/árvore); D - Diâmetro na Altura do Peito (cm); H - Altura total (m); S - Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> ). .....	34
Tabela 2 - Equações de regressão para estimativa de biomassa em florestas tropicais. Y - biomassa por árvore (kg); D - diâmetro na altura do peito (cm); BA - área basal (cm <sup>2</sup> ). .....	35
Tabela 3 - Áreas do Estado de São Paulo inventariadas para estimar a biomassa e carbono. ....	36
Tabela 4 - Grupo ecológico, altura média, diâmetro na altura do peito (DAP) médio, incremento médio anual (IMA) em altura e DAP das espécies do estrato arbóreo (DAP≥5 cm) na área de empréstimo da Usina Hidrelétrica da Camargos, aos 155 meses de idade. ....	38
Tabela 5 - Serviços ecossistêmicos proporcionados por matas ciliares, segundo Constanza <i>et al.</i> (1997). .....	39
Tabela 6 - Precificação do carbono em diferentes modalidades de precificação. ....	43
Tabela 7 - Total de área reflorestada de acordo com o potencial. ....	46
Tabela 8 - Equações utilizadas para cálculo da fixação de carbono. ....	48
Tabela 9 - Custo de implantação total do projeto de reflorestamento para um hectare. Todos os valores monetários estão em reais (R\$), exceto quando houver indicação. ....	49
Tabela 10 - Situação das Áreas de Preservação Permanente de Campinas. ....	54
Tabela 11 - Fixação de carbono das diferentes classes diamétricas para uma área de 1 hectare. ....	56
Tabela 12 - Tempo de crescimento necessário de cada classe diamétrica e respectivos Incrementos Médios Anuais de Carbono e de CO <sub>2</sub> -eq. ....	57
Tabela 13 - Comparação da fixação de carbono e CO <sub>2</sub> -eq. entre todas as equações utilizadas, com destaque àquelas utilizadas para a estimativa do valor associado. ....	59
Tabela 14 - Custo associado ao serviço ecossistêmico de fixação de CO <sub>2</sub> -eq considerando uma taxa de câmbio do dólar americano de 3,40. ....	60
Tabela 15 - Resumo dos valores obtidos para o Cenário 1. ....	63

Tabela 16 - Resumo dos valores obtidos para o Cenário 2. ....	66
Tabela 17 - Resumo dos valores obtidos para o Cenário 3. ....	68
Tabela 18 - Valores obtidos em cada cenário para as APPs urbanas. ....	72
Tabela 19 - Valores obtidos em cada cenário para as APPs rurais. ....	72
Tabela 20 - Valores obtidos para o total de APPs degradadas do município de Campinas. ....	73

# SUMÁRIO

1	Introdução .....	13
2	Objetivos .....	16
2.1	Objetivos específicos .....	16
3	Revisão de Literatura.....	17
3.1	Serviços ecossistêmicos .....	17
3.1.1	Conceito .....	17
3.1.2	Avaliação Ecossistêmica do Milênio - AM (Millennium Ecosystem Assessment) .....	18
3.2	Áreas Verdes .....	22
3.2.1	Definição .....	22
3.2.2	Áreas de Preservação Permanente (APP) no meio urbano .....	24
3.2.3	Áreas Verdes de Campinas.....	25
3.3	O reflorestamento como técnica de fixação de carbono e restauração ecológica .....	30
3.4	Precificação do carbono.....	40
3.5	A utilização de cenários no planejamento ambiental .....	44
4	Metodologia .....	46
4.1	Mapeamento das áreas verdes de Campinas.....	46
4.2	Cenários propostos .....	46
4.3	Cálculo do potencial de fixação de carbono.....	48
4.4	Precificação do carbono.....	49
4.5	Seleção de espécies .....	51
5	Estudo de Caso – Áreas de Preservação Permanente de Campinas.....	52
5.1	Cálculo base de fixação de carbono .....	55
5.2	Cenário 1 – 30% de potencial de reflorestamento de APPs .....	62
5.3	Cenário 2 – 60 % de potencial de reflorestamento de APPs .....	65

5.4	Cenário 3 – 100% de potencial de reflorestamento de APPs .....	67
5.5	Comparação entre os Cenários .....	69
6	Conclusões .....	74
7	Referências Bibliográficas.....	77
	Anexo I – Sugestão de espécies para o reflorestamento de um hectare .....	85
	Anexo II – Preço do carbono em diferentes modalidades de precificação de acordo com o Banco Mundial.....	89
	Anexo III – Planilha de cálculo do valor presente para serviços ecossistêmicos adicionais .....	90

## 1 Introdução

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2014), a população urbana em 1950 era cerca de 746 milhões habitantes, o que representava 30% da população total mundial. Em 2014, esse número saltou para 3,9 bilhões de habitantes, atingindo 54%. No Brasil, 185,35 milhões de pessoas vivem em áreas urbanas, correspondendo a mais de 88% da população do país (ONU 2016). Com isso, a expansão das áreas urbanas vem pressionando os limites da cobertura vegetal e comprometendo os serviços ecossistêmicos proporcionados por ela, caracterizando esta população, simultaneamente, como agentes e vítimas da degradação ambiental (RODRIGUES; VICTOR, 2014).

Para Santos (2014) um dos grandes desafios do planejamento urbano refere-se à conciliação entre o processo de desenvolvimento urbano e conservação dos recursos naturais, através de estratégias que ofereçam condições de controle e reversão dos efeitos da degradação socioambiental, como no caso das inundações e ocupações irregulares em áreas de preservação.

Essa degradação contínua e crescente decorre, em grande medida, do modelo econômico atual, baseado no extrativismo predatório dos recursos naturais, comprometendo o estoque destes recursos fundamentais à sobrevivência da humanidade. A vulnerabilidade deste modelo torna-se cada vez mais evidente, com exemplo da escassez hídrica enfrentada pela região Sudeste do Brasil no final de 2014 e início de 2015, devido à ineficiência na gestão deste recurso natural, ao seu consumo ineficiente por parte da população e ao déficit pluviométrico.

O avanço da urbanização, sua escala e velocidade não constituem problema em si, não fosse o modo como ocorre, uma vez que a sustentabilidade do aglomerado urbano, em sua componente físico-urbanística, relaciona-se com as seguintes variáveis: a forma de ocupação do território; a disponibilidade de insumos para seu funcionamento (como a disponibilidade de água); a descarga de resíduos (destino e tratamento de esgoto e resíduos sólidos); o grau de mobilidade da população no espaço urbano (qualidade do transporte público de massa); a oferta e o atendimento às necessidades da população por moradia, equipamentos sociais e serviços; e a qualidade dos espaços públicos, dentre eles as áreas verdes (GROSTEIN, 2001).

Ao ser alterada a cobertura vegetal, modifica-se também o valor econômico da água, além de serem alterados ciclos e dinâmicas que ocorrem no ambiente. Isso porque não ocorre mais o armazenamento gratuito de água que seria utilizada, nos períodos de estiagem, pela agricultura, cidades e indústrias. Além disso, a água deixa de ser um recurso a ser benéfico aos seres vivos e passa a ser fonte de destruição através de inundações, deslizamentos e degradação do solo (TRICART, 1977; LAURENTIS, 2008).

Além da produção e regulação da disponibilidade hídrica e da qualidade de vida em centros urbanos, as áreas verdes proporcionam outros relevantes serviços ecossistêmicos, que de acordo com a Avaliação Ecossistêmica do Milênio – AM (do inglês, *Millennium Ecosystem Assessment*), são:

- a) serviços de provisão, incluindo alimentos, água, madeira e fibras;
- b) serviços reguladores, que afetam o clima, inundações, doenças, resíduos e a qualidade da água;
- c) serviços culturais, que fornecem benefícios recreacionais, estéticos e espirituais; e
- d) serviços de suporte, tais como formação do solo, fotossíntese e ciclo de nutrientes (MA, 2005).

O processo contínuo de urbanização gera paisagens cada vez mais homogêneas com alto grau de fragmentação de hábitat, causando a perda de biodiversidade, dos processos e das funções e dinâmicas ecológicas e, conseqüentemente, diminuição da disponibilização dos serviços ecossistêmicos (ALBERTI, 2010; MELLO, *et al.*, 2014).

Embora o uso dos serviços ecossistêmicos não tenha seu preço reconhecido no mercado, seu valor econômico existe na medida em que seu uso altera o nível de produção e consumo (bem-estar) da sociedade (MOTTA, 1997), e vai além do valor associado apenas às commodities proporcionadas por estes sistemas (DAILY, 1997).

A compreensão do papel que os ecossistemas representam na qualidade de vida do ser humano e, em alguns casos, para a simples sobrevivência, é

fundamental para que ações possam ser tomadas em direção à proteção destes sistemas (REICHERT, 1997).

Partindo do princípio que a atividade econômica, a qualidade de vida e a interação social são profundamente dependentes dos serviços ecossistêmicos (RODRIGUES; VICTOR, 2014), identifica-se a necessidade de avaliar as mudanças ocasionadas nos ecossistemas sobre a perspectiva do bem-estar humano, tornando-os indicadores de uma economia sustentável e de uma administração pública consciente.

Com relação à estrutura desta dissertação, no capítulo 2 são apresentados os objetivos gerais e específicos. No capítulo 3 é feita a revisão bibliográfica dos conceitos e teorias aplicados neste trabalho. Apresenta o conceito de serviços ecossistêmicos e qual a relação com o bem-estar da sociedade e o desenvolvimento econômico, desde uma análise mais ampla, em escala mundial, até uma abordagem em escala municipal. Discute-se a relevância na definição do conceito de área verde para a elaboração do índice de áreas verdes como um índice de qualidade de vida. Segue-se com a apresentação da situação do município de Campinas, quanto ao mapeamento das áreas verdes e a situação na qual elas se encontram.

Ainda no capítulo 3, é discutida a relevância da técnica de reflorestamento como ferramenta para recuperação das áreas degradadas e seu papel na fixação de carbono em forma de biomassa. São apresentadas algumas das equações utilizadas para estimar o total de biomassa em áreas reflorestadas e o quanto de carbono é fixado. Ao final do capítulo, discute-se sobre a precificação do carbono no mercado mundial e os cenários para uma economia de baixo carbono e como a técnica de elaboração de cenários pode ser implementada.

No capítulo 4 apresenta-se a metodologia utilizada neste trabalho, a forma de elaboração dos mapas, as equações utilizadas para calcular a fixação de carbono e o custo associado à implantação dos projetos de reflorestamentos.

O capítulo 5 corresponde ao estudo de caso do município de Campinas-SP, onde se estabelecem alguns cenários para o reflorestamento das Áreas de Preservação do município. Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões do autor diante das análises realizadas ao longo do trabalho.

## **2 Objetivos**

Identificar e determinar o potencial de fixação de carbono das Áreas de Preservação Permanente - APP degradadas ao longo dos cursos d'água do município de Campinas-SP, estabelecendo um cenário de recuperação destas áreas através da técnica de reflorestamento.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Discutir o conceito de serviços ecossistêmicos.
- Discutir o conceito de Áreas Verdes Urbanas e sua função ecossistêmica.
- Apresentar diagnóstico das áreas verdes de Campinas, de acordo com a base cartográfica disponível na Secretaria do Verde e Desenvolvimento Sustentável do município de Campinas.
- Estimar o potencial de fixação de carbono na biomassa acima do solo.
- Elaborar cenários de revegetação para as APPs urbanas ao longo dos cursos d'água de Campinas.

### 3 Revisão de Literatura

#### 3.1 Serviços ecossistêmicos

##### 3.1.1 Conceito

Pode-se definir ecossistema como um sistema que compreende todo e qualquer organismo vivo (biota), seu respectivo ambiente não-vivo (abiótico) e todas as interações entre estes componentes do sistema, produzindo um fluxo de energia e ciclagem de materiais (COMMON; STAGL, 2005; DAILY, 1997; ODUM, 1988). Trata-se de sistemas adaptativos, nos quais propriedades sistêmicas como estrutura, relação produtividade/diversidade e padrões de fluxo de nutrientes emergem de interações entre os componentes, numa combinação de efeitos positivos e negativos que garantem o equilíbrio dinâmico destes sistemas (ANDRADE; ROMEIRO, 2009; CONSTANZA *et al.*, 2015).

Para Holling (1987), o equilíbrio de um ecossistema garante-se por quatro funções básicas: exploração, conservação, liberação e reorganização. A estabilidade e produtividade de um sistema são determinadas a partir da diferença entre a exploração e a conservação. Quando esta é superada por aquela, o sistema passa a sofrer uma perturbação além de sua capacidade de reposição, tornando-se dependente de sua resiliência para retornar ao estado de equilíbrio. Neste contexto, a resiliência é a capacidade do sistema em absorver uma perturbação externa, causadora de alguma liberação (seja de energia ou capital), e retornar ao estado de conservação através de sua reorganização.

Segundo Daily (1997), os serviços ecossistêmicos são produtos da relação entre as condições, os processos e as espécies existentes em ecossistemas naturais, que sustentam e satisfazem a demanda do homem.

Somado aos sistemas naturais, economicamente denominados como capital natural, Constanza *et al.* (1997) consideram a relação dos serviços ecossistêmicos com o estoque de capital humano e manufaturado, o que resulta em serviços garantidores do bem estar social.

Conforme Odum (1988), os avanços tecnológicos permitiram uma alteração quantitativa na capacidade humana de exploração de recursos e “serviços” da

natureza, causando uma impressão de independência do sistema econômico em relação ao meio ambiente natural.

Neste sentido, Myers (1997) afirma que para a engenharia replicar os serviços prestados pelos ecossistemas, em escalas semelhantes às naturais, seria economicamente inviável, e que em longo prazo seriam ineficientes em compensar a escassez dos recursos naturais (DAILY, 1997).

Constanza *et al.* (1997, 2015) identificam a ineficiência da tecnologia em replicar os serviços ecossistêmicos de sistemas naturais, uma vez que considera o capital natural como premissa para condições básicas do bem estar humano. Dessa forma, é fundamental compreender como as mudanças no estoque de capital natural e a qualidade dos serviços ecossistêmicos se relaciona com o bem estar humano.

A espécie humana, embora meramente protegida de mudanças ambientais pela cultura e pela tecnologia, depende fundamentalmente do fluxo dos serviços dos ecossistemas. Pode-se citar, como exemplo, que a construção de estações de tratamento de água substituem o processo natural de purificação da água. Entretanto, com a preservação e conservação das bacias hidrográficas, além de proporcionar água limpa, é possível restabelecer as atividades de pesca, controle de enchentes e atividades de lazer (MA, 2005).

Segundo Andrade e Romeiro (2009), acredita-se que a atividade econômica, a qualidade de vida e o bem-estar humano, ou seja, as condições básicas de sobrevivência, tem uma relação de profunda dependência com os serviços gerados pelos ecossistemas.

Neste contexto, torna-se fundamental o estudo da dinâmica da geração dos serviços ecossistêmicos e suas interações com a sociedade, além dos impactos causados por atividades antrópicas e pelo crescimento econômico sobre a capacidade dos ecossistemas de gerarem tais serviços essenciais à vida.

### **3.1.2 Avaliação Ecosistêmica do Milênio - AM (Millennium Ecosystem Assessment)**

A Avaliação Ecosistêmica do Milênio – AM (do inglês, *Millennium Ecosystem Assessment*) surgiu a partir da solicitação do então Secretário-Geral das Nações

Unidas, Kofi Annan, em seu relatório *Nós, os Povos: O papel das Nações Unidas no século XXI*, dirigido à Assembleia Geral das Nações Unidas, no ano de 2000.

Sob o patrocínio das Nações Unidas e coordenada pelo Programa das Nações Unidas pelo Meio Ambiente – PNUMA, a AM teve como objetivo avaliar as consequências das mudanças nos ecossistemas sobre o bem-estar humano, além de estabelecer uma fundamentação científica para as ações de conservação e de uso sustentável dos ecossistemas e seus benefícios proporcionados ao bem-estar humano (MA, 2005).

A AM partiu da perspectiva de inserção do ser humano como parte dos ecossistemas, a partir de uma interação dinâmica entre ambos, ou seja, mudanças nas condições humanas interferem, direta e indiretamente, no comportamento dos ecossistemas e vice-versa. Portanto, entende-se que essa relação bilateral é responsável pelo bem-estar humano (MA, 2005).

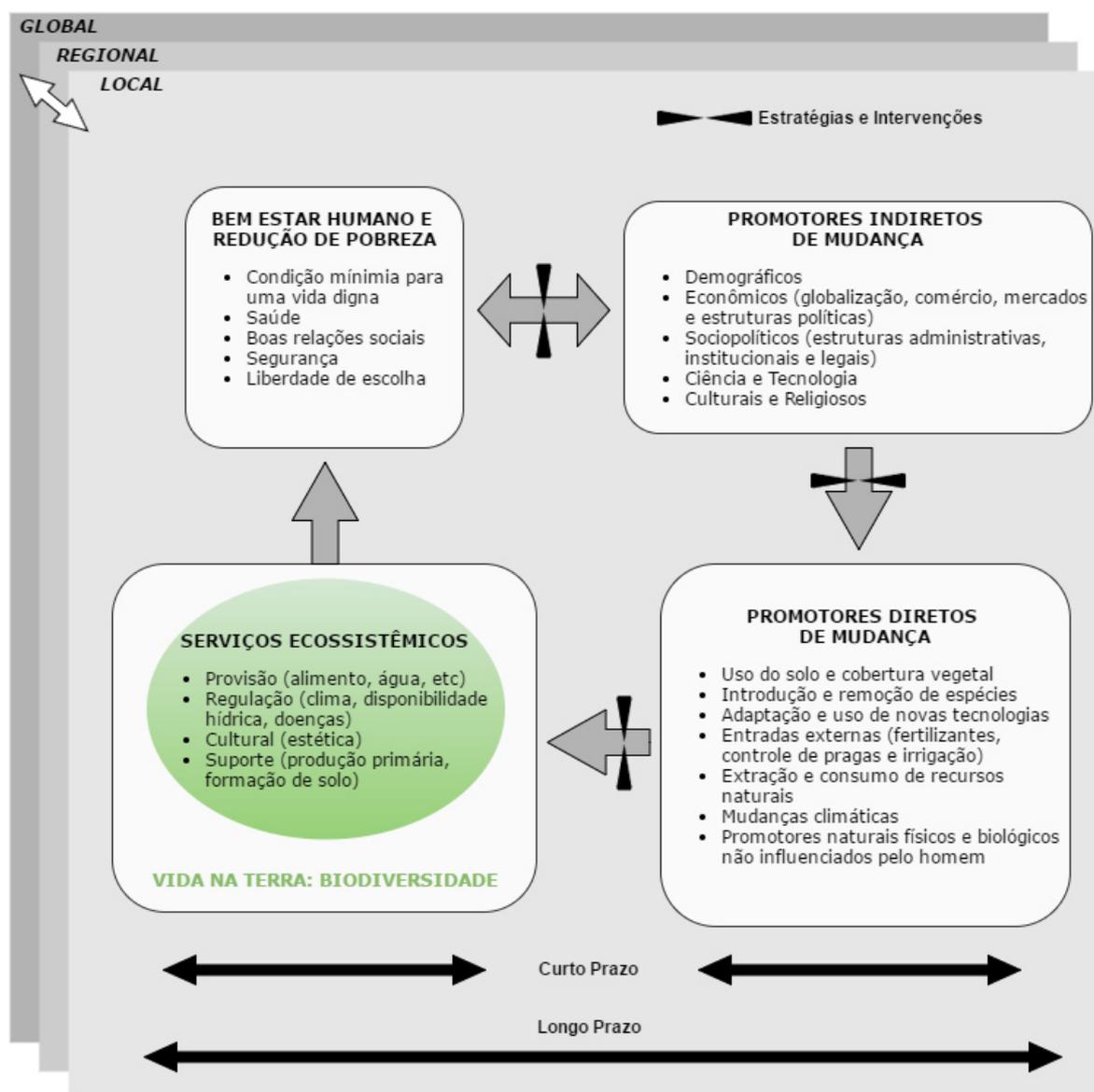
A partir das mudanças provenientes dessa relação, a AM propôs respostas, em escalas locais, nacionais e globais, que permitem a gestão consciente dos ecossistemas e contribuem para a melhoria do bem estar humano. Esta relação pode ser confirmada através do resultado da avaliação aplicada em escala local, na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo (RBCV), garantindo que 24 milhões de habitantes são beneficiados pelos serviços gerados na RBCV, promovendo uma economia equivalente a 18,4% do PIB do Brasil (RODRIGUES; VICTOR, 2014).

A **Figura 1** mostra como o bem-estar humano é impactado com as alterações nos serviços ecossistêmicos, à medida que são considerados fatores de mudança diretos e indiretos.

As alterações nos fatores que indiretamente afetam os ecossistemas, como população, tecnologia, e estilos de vida (canto superior direito da figura), podem ocasionar mudanças nos fatores que afetam diretamente os ecossistemas, como a pesca ou o uso de fertilizantes para aumentar a produção de alimentos (canto inferior direito). A partir daí, os serviços ecossistêmicos são afetados, positiva ou negativamente, influenciando o bem-estar humano.

Estas interações podem ocorrer em diferentes escalas espaciais e temporais, enquanto que ações (barras negras) podem ser tomadas para responder às mudanças negativas ou para potencializar mudanças positivas em quase todos os pontos desta estrutura.

**Figura 1** - Estrutura conceitual da Avaliação do Milênio dos Ecossistemas.



Fonte: Adaptado de MA, 2005.

Baseada nas definições de Daily (1997), que considera os bens e serviços proporcionados pelos ecossistemas, e de Constanza *et al.* (1997, 2015), que considera tanto ecossistemas naturais quanto aqueles alterados por atividades antrópicas, a AM define serviços ecossistêmicos como “os benefícios obtidos pelo homem através dos ecossistemas” (MA, 2005).

A metodologia de categorização dos serviços, adotada pela Avaliação do Milênio, baseou-se em grupos funcionais distintos, porém que possuem relações entre si. As categorias são: serviços de provisão, serviços de regulação, serviços culturais e serviços de suporte (**Figura 2**).

**Figura 2** – Categorização dos serviços ecossistêmicos de acordo com a AM.

<b>Serviços de Provisão</b>	<b>Serviços de Regulação</b>	<b>Serviços Culturais</b>
Produtos obtidos de ecossistemas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimento</li> <li>• Água</li> <li>• Combustível</li> <li>• Fibras</li> <li>• Compostos bioquímicos</li> <li>• Recursos genéticos</li> </ul>	Benefícios obtidos através da regulação dos processos dos Ecossistemas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulação climática</li> <li>• Regulação da água</li> <li>• Regulação de doenças</li> <li>• Polinização</li> </ul>	Benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espirituais e religiosos</li> <li>• Recreio e turismo</li> <li>• Estéticos</li> <li>• Inspiradores</li> <li>• Educacionais</li> <li>• Sensação de lugar</li> <li>• Herança cultural</li> </ul>
<b>Serviços de Suporte</b> Produtos obtidos de ecossistemas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formação do solo</li> <li>• Ciclos de nutrientes</li> <li>• Produção Primária</li> </ul>		

Fonte: Adaptado de MA, 2005.

Como a AM analisa a influência dos serviços proporcionados por determinado ecossistema na qualidade do bem-estar humano, é fundamental compreender os fatores que alteram a capacidade de provisão destes serviços, a fim de propor intervenções positivas.

Dessa forma, considerou-se fatores que afetam diretamente os ecossistemas, seja por processos naturais ou atividades antropogênicas, tais como:

- Alteração no uso e ocupação do solo;
- Modificações nos traçados de corpos d'água;
- Introdução ou remoção de espécies;
- 'Inputs' externos (uso de fertilizantes, controle de pragas e irrigação);
- Lançamento de poluentes;
- Colheita, caça e pesca.

## 3.2 Áreas Verdes

### 3.2.1 Definição

O conceito de área verde é encontrado na literatura por de diversas denominações, seja em estudos acadêmicos, técnicos ou legislações.

Para Demuzere *et al.* (2014), as áreas verdes são espaços que contribuem para a resiliência ambiental e que proporcionam benefícios à população através de serviços ambientais. Estas áreas estão inseridas no contexto de infraestrutura verde, isto é, um sistema de infraestrutura que relaciona as áreas verdes com sistemas construtivos.

Já Cavalheiro *et al.* (1999) dissocia esta relação, apontando áreas verdes como um sistema de espaços livres de construção que proporciona funções ecológicas, estéticas e de lazer.

De acordo com a Lei nº 12.651/2012, que dispõe sobre o 'novo código florestal brasileiro', o conceito de área verde é apresentado para o contexto urbano e é definido pela seguinte redação:

Área verde urbana: espaços, públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais (BRASIL, 2012).

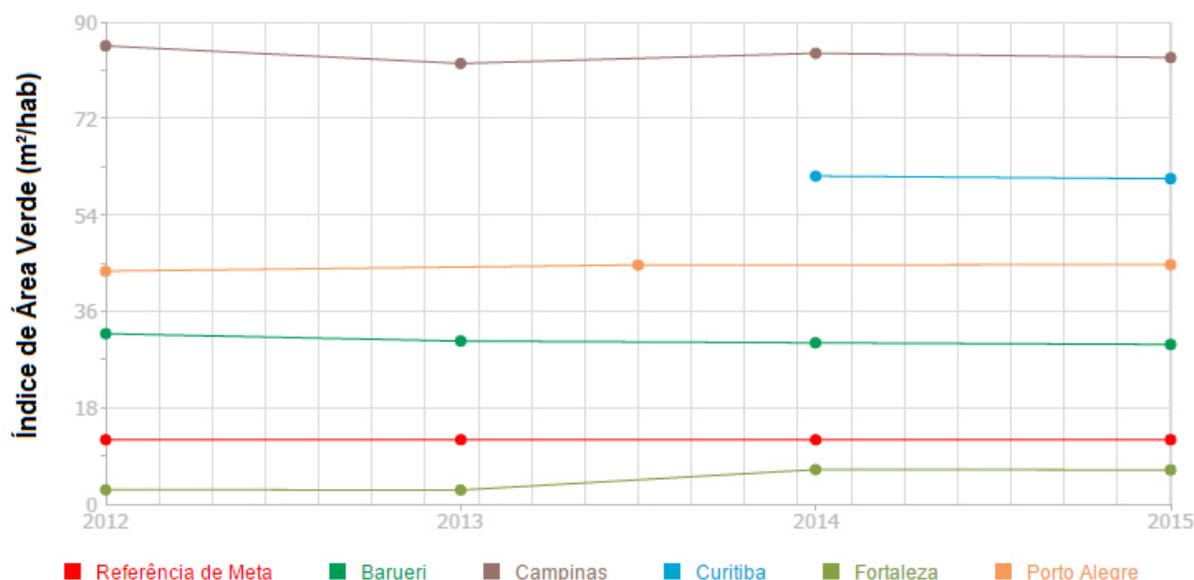
Devido aos benefícios proporcionados pelas áreas verdes à população, entende-se que um importante indicador de qualidade ambiental para as cidades é o índice que relaciona o total de área verde pública do município com o total da população do mesmo. Dessa forma, criou-se o Índice de Área Verde (IAV).

Cavalheiro e Del Picchia (1992) referem-se ao IAV de 12 m<sup>2</sup>/habitante, o qual teria sido difundido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), porém este índice não é reconhecido pela instituição.

Segundo Toledo *et al.* (2009), a Sociedade Brasileira de Arborização Urbana recomenda um índice mínimo de área verde de 15 m<sup>2</sup>/habitante, considerando somente áreas verdes de livre acesso à população. Ainda, alertam que a utilização do IAV não estabelece um parâmetro comparativo, caso o termo “área verde” não esteja claramente definido.

Fica clara a importância na definição do conceito de Área Verde para a elaboração de um índice, quando os valores divulgados pelos municípios variam em uma faixa de 5,53 m<sup>2</sup>/habitante até 1.066 m<sup>2</sup>/habitante (PCS, 2016). O Programa Cidades Sustentáveis utiliza-se da meta de 12 m<sup>2</sup>/habitante e disponibiliza a relação dos índices dos municípios participantes. A **Figura 3** apresenta alguns índices de área verde destes municípios.

**Figura 3** - Índice de Área Verde de municípios participantes do Programa Cidades Sustentáveis.



Fonte: Programa Cidades Sustentáveis, 2016.

Independentemente da definição adotada e da densidade de áreas verdes urbanas, entende-se que estas áreas estejam diretamente relacionadas com o bem-estar e a saúde da população, assim como garantem a sustentabilidade ambiental das cidades (CAMPINAS, 2015b; KENNEDY *et al.*, 2011; LOBODA; DE ANGELIS, 2005; WANG *et al.*, 2014). Isto vai de encontro com a percepção da maioria da população, que relaciona a cobertura vegetal como uma função de satisfação psicológica e cultural. Os benefícios proporcionados à população pelas áreas

verdes, sejam eles diretos ou indiretos, são denominados serviços ambientais, ou ainda, serviços ecossistêmicos (ANDRADE; ROMEIRO, 2009).

### **3.2.2 Áreas de Preservação Permanente (APP) no meio urbano**

Segundo Roriz (2010), o meio ambiente é regido por leis humanas, que variam segundo as opções do comportamento humano, diferentemente da ecologia, que é regida por leis científicas. Isto quer dizer que, ao contrário das leis científicas, que são governadas pela ciência, as leis decorrentes do comportamento humano são regidas pela liberdade de escolha do ser humano, em que não se faz presente o conceito de verdade.

O Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001) “estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental”. Tem como diretriz geral, dentre outras:

“O planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente.”

As Áreas de Preservação Permanente instituídas pelo Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/12) consistem em “espaços territoriais legalmente protegidos, ambientalmente frágeis e vulneráveis, podendo ser públicas ou privadas, urbanas ou rurais, cobertas ou não por vegetação nativa” (MMA, 2016).

Os efeitos indesejáveis do processo de urbanização sem planejamento, como a ocupação irregular e o uso indevido dessas áreas, tende a reduzi-las e degradá-las cada vez mais. Com isso, necessita-se um aperfeiçoamento das políticas ambientais urbanas voltadas à recuperação, manutenção, monitoramento e fiscalização das APP nas cidades, tais como (MMA, 2016):

- “Articulação de estados e municípios para a criação de um sistema integrado de gestão de Áreas de Preservação Permanente urbanas, incluindo seu mapeamento, fiscalização, recuperação e monitoramento;

- Apoio a novos modelos de gestão de APP urbanas, com participação das comunidades e parcerias com entidades da sociedade civil;
- Definição de normas para a instalação de atividades de esporte, lazer, cultura e convívio da população, compatíveis com a função ambiental dessas áreas;”

Sepe *et al.* (2014) vão além, sugerindo a necessidade de discussão de uma legislação específica de proteção de áreas de preservação permanente, revestidas ou não de vegetação, para áreas urbanas. Legislação esta que ao mesmo tempo em que possibilite o reconhecimento das distintas realidades urbanas existentes no país, garanta a preservação e recuperação ambiental das áreas de APP, baseadas na identificação das funcionalidades prestadas por estas áreas.

Ainda que se tenha pouco tempo de aplicação da Lei Federal 12651/2012, a experiências consolidadas ao longo das últimas décadas tem demonstrado que é desaconselhável optar por tentativas de melhor adequá-la, através de emendas ao atual texto ou leis complementares, como foi a opção adotada para o Código Florestal anterior. A produção de uma nova legislação exclusivamente voltada à regulação das APPs no espaço urbano impõe-se como a alternativa mais apropriada (SEPE *et al.*, 2014).

No que diz respeito à importância das Áreas de Preservação Permanente para fixação de carbono, o Novo Código Florestal caracteriza estas áreas como elegíveis para quaisquer pagamentos ou incentivos por serviços ambientais, configurando adicionalidade fins de mercados nacionais e internacionais de reduções de emissões certificadas de gases de efeito estufa (BRASIL, 2012.)

### **3.2.3 Áreas Verdes de Campinas**

O mapeamento atual da vegetação natural de Campinas é resultado da parceria entre a Prefeitura Municipal de Campinas e o Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais (Nepam), da Universidade Estadual de Campinas (CAMPINAS, 2016).

O mapeamento da vegetação natural possibilitou contabilizar 3.215 fragmentos florestais no município, totalizando a uma área de 8.852 ha, que

correspondem a 11,1% da área do território (CAMPINAS, 2016). Até o ano de 2015 não havia sido elaborado um estudo que diagnosticasse a situação das Áreas Verdes de Campinas, servindo como fundamentação teórica para o planejamento e gestão destas áreas. Com isso, nesse mesmo ano, foi elaborado o documento Plano Municipal do Verde: Diagnóstico Preliminar. Após algumas revisões de metodologia, no mês de Abril de 2016, consolidou-se o Plano Municipal do Verde do município de Campinas.

O Plano Municipal do Verde (PMV) configura-se como um documento norteador e unificador, com diretrizes estabelecidas e metas bem delineadas para uma gestão eficaz, eficiente e integrada das Áreas Verdes no município de Campinas. Assim, o PMV busca consolidar as ações de conservação e recuperação das Áreas Verdes de Campinas, determinando programas que assegurem as funções básicas destas áreas e beneficiem toda a população da cidade (CAMPINAS, 2016).

Primeiramente, faz-se necessário definir o conceito de Área Verde apresentado no PMV, o que permite definir claramente o contexto aos quais os objetivos e propostas apresentados neste plano se aplicam.

Área Verde: aquela que possui funções ecológicas e sociais, cuja área permeável ocupe, no mínimo, 70% de sua área total, possuindo vegetação em qualquer porte (herbácea, arbustiva e/ou arbórea), ocorrendo em áreas públicas ou privadas, rurais ou urbanas (CAMPINAS, 2016).

Para o mapeamento das Áreas Verdes de Campinas, além da definição do conceito, outras premissas foram estabelecidas, a fim de limitar o escopo do plano como uma ferramenta de planejamento efetiva. Dessa forma, pode-se representar os parâmetros estabelecidos para mapeamento das áreas conforme mostrado na **Figura 4**.

**Figura 4** - Parâmetros considerados no mapeamento das Áreas Verdes.



Fonte: Adaptado de CAMPINAS, 2016.

Com base nas premissas estabelecidas, elaborou-se o mapa das Áreas Verdes do município de Campinas (**Figura 5**) com o intuito de apresentar o total dessas áreas.

Ressalta-se que neste mapa não foram consideradas áreas de culturas agrícolas, a arborização urbana ao longo do sistema viário (rotatórias e canteiros), terrenos baldios, telhados, cemitérios e jardins particulares.

O fato do PMV não contemplar estas áreas não exclui o potencial das mesmas, no que diz respeito aos serviços ambientais prestados e seu importante papel na qualidade ambiental do meio urbano.

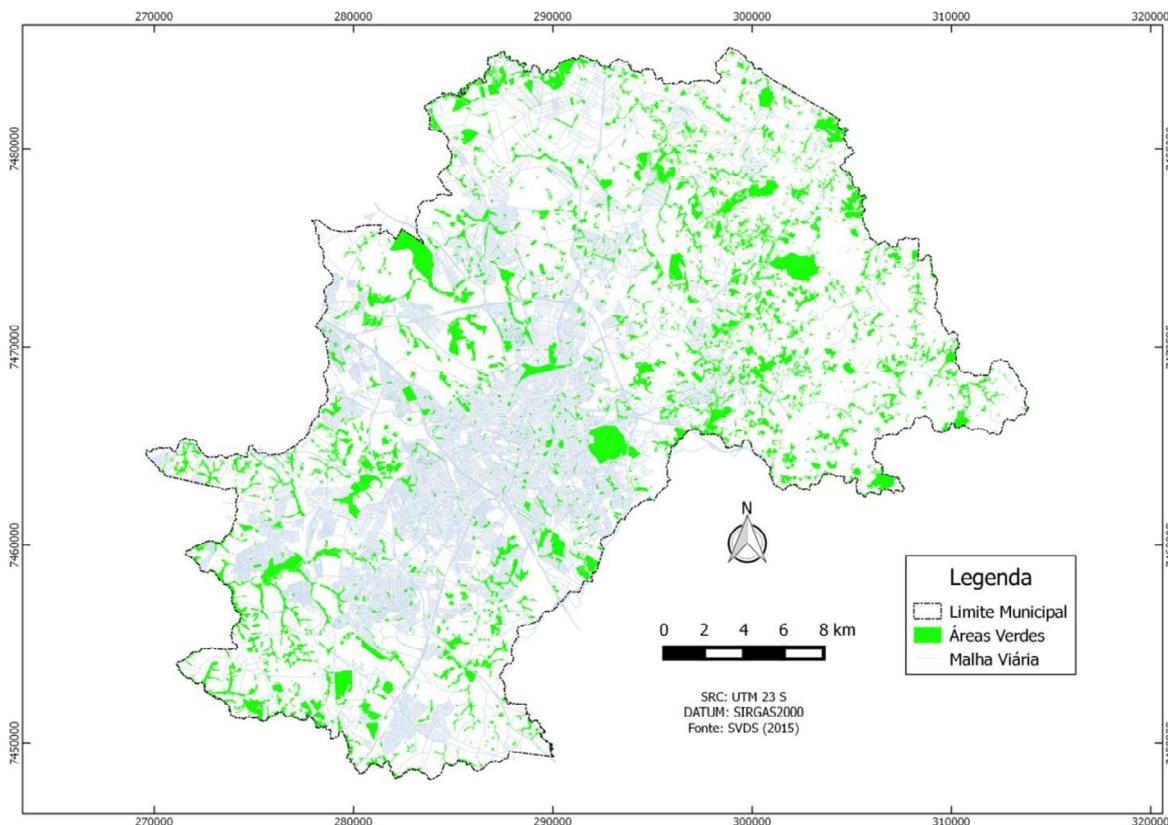
No total, as áreas verdes de Campinas somam 9,46 mil hectares, o que implica em um índice de 87,58 m<sup>2</sup> por habitante, considerando a população estimada pelo levantamento demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, cujo resultado foi de 1.080.113 habitantes (CAMPINAS, 2016; IBGE, 2010).

Apesar das diferentes funções desempenhadas pelas áreas verdes e seus diferentes serviços ambientais proporcionados, a metodologia adotada no PMV (CAMPINAS, 2016) teve o objetivo de caracterizar as áreas verdes somente em duas categorias, de acordo com sua função predominante:

- Áreas Verdes com função predominantemente Ecológica: presença da vegetação natural, atuando como refúgio para fauna, corredor ecológico, promovendo melhorias no clima da cidade, atenuação sonora e manutenção da qualidade do ar e água.
- Áreas Verdes com função predominantemente Social: oferta de espaços que possibilitam o lazer associado ao contato com elementos naturais, cujas áreas são providas de infraestrutura como

a presença de trilhas para caminhadas, bancos para descanso, playgrounds, espaços para manifestações artísticas e culturais, equipamentos para atividades físicas, atuando como espaço de convívio para a população.

**Figura 5 - Mapa das Áreas Verdes de Campinas.**

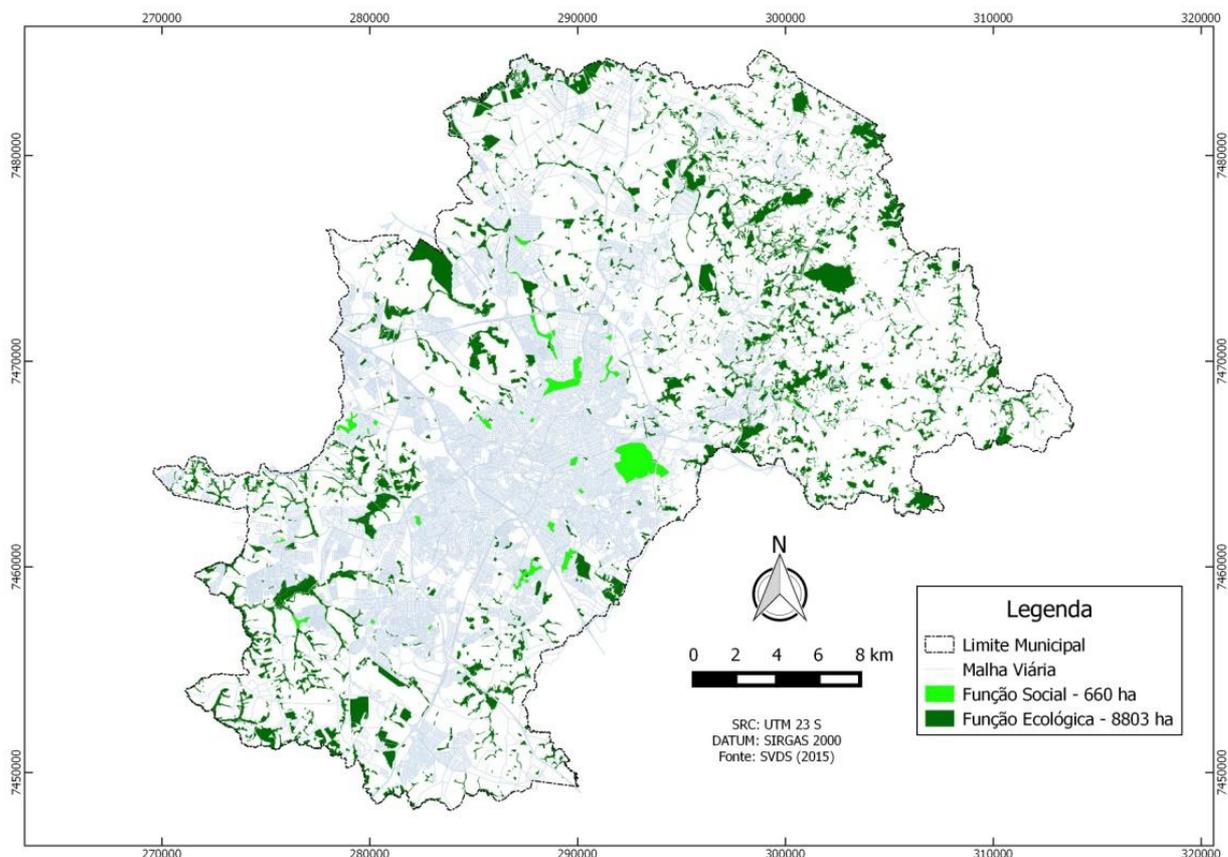


Fonte: CAMPINAS, 2016.

Apesar da divisão das áreas verdes em duas funções, é importante ressaltar que estas não são excludentes, uma vez que áreas com caráter social desempenham importantes funções ecológicas. Por exemplo, parques e bosques arborizados contribuem para a regulação microclimática do local e possuem potencial para fixação de carbono. Da mesma maneira, áreas de caráter ecológico impactam de maneira indireta a sociedade, como benefícios ao sistema de Saúde devido à melhor qualidade da água dos rios que possuem Áreas de Preservação Permanente (APP) conservadas (CAMPINAS, 2016).

A **Figura 6** apresenta o mapa das Áreas Verdes de Campinas de acordo com sua função.

**Figura 6** - Mapa das Áreas Verdes de Campinas de acordo com função atribuída.

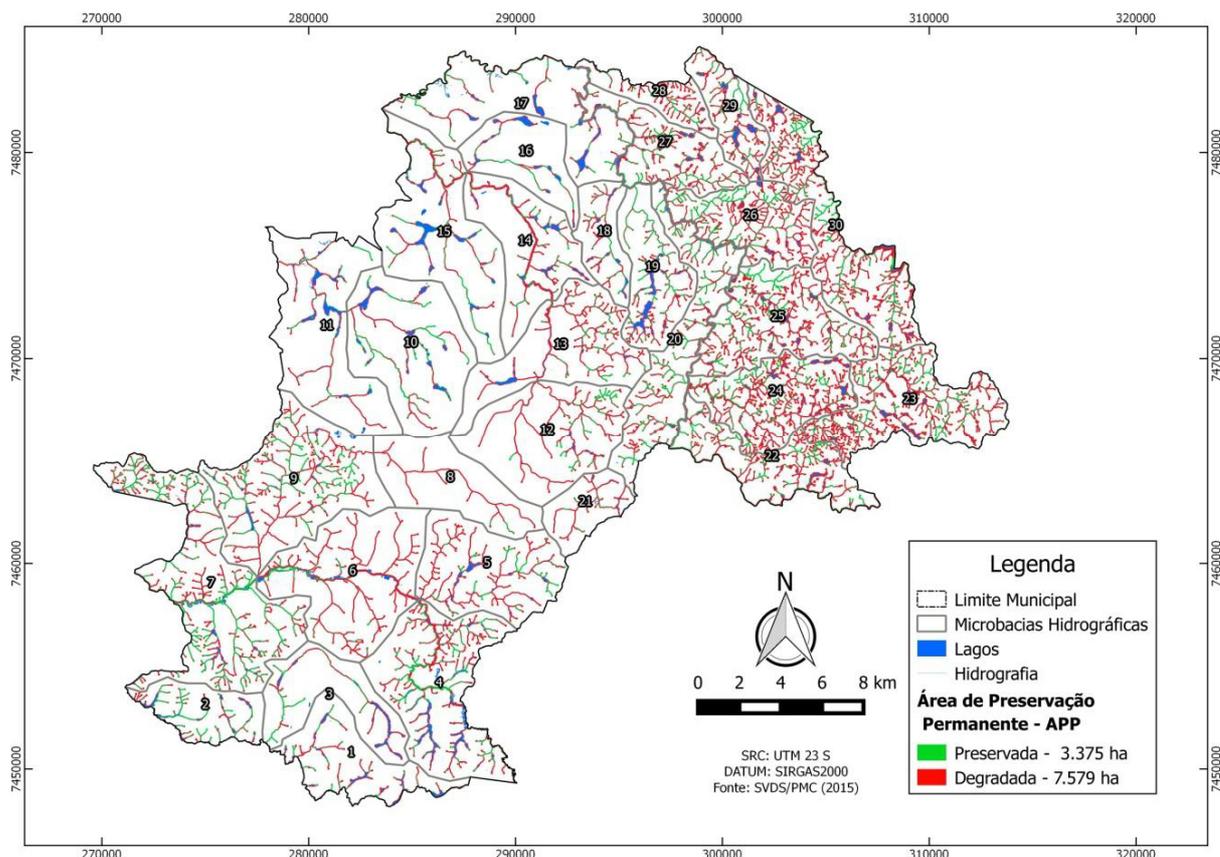


Fonte: CAMPINAS, 2016.

Classificada como área verde de função predominantemente ecológica, a categoria de Área de Preservação Permanente (APP), tanto urbana como rural, totaliza 10.594 hectares (**Figura 7**), sendo que apenas 3.375 hectares (30,8%) estão em situação de preservação e em conformidade com a legislação (CAMPINAS, 2016).

A fragmentação da vegetação natural resulta, entre outras consequências, na diminuição da diversidade biológica, alterações no regime hidrológico e na ciclagem de nutrientes. Assim, compreendermos a situação das Áreas Verdes Ecológicas é essencial para o estabelecimento de prioridades e modelos de conservação para essas áreas (CAMPINAS, 2016).

**Figura 7 - Mapa das Áreas de Preservação Permanente de Campinas.**



Fonte: CAMPINAS, 2016.

### 3.3 O reflorestamento como técnica de fixação de carbono e restauração ecológica

Para Chambers *et al.* (1998), informações sobre o crescimento e a idade das árvores são ferramentas importantes sobre a dinâmica de populações, sobre práticas de manejo florestal visando o desenvolvimento sustentável e, ainda, sobre o ciclo de carbono nas florestas.

Para Yu (2004) as formas de sequestrar carbono florestal podem ser classificadas em três tipos:

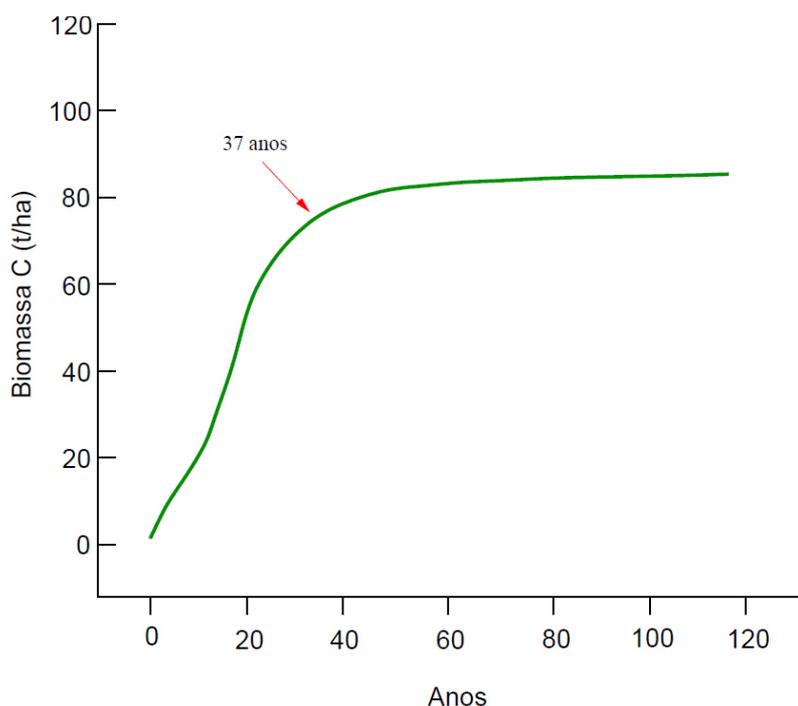
- Preservação, por meio de ação protetora, de estoques de carbono em florestas já existentes;
- Substituição do uso de combustíveis fósseis pelo uso de produtos de biomassa vegetal sustentável;

c) Aumento do estoque de carbono florestal por meio de manejo sustentável, regeneração florestal ou introdução de agrofloresta em áreas de agropecuária;

Segundo Martins (2004), o potencial de sequestro de carbono de um ecossistema depende das espécies que o compõem, de suas estruturas e também a distribuição etária. Além disso, fatores como clima, tipo de solo e índice pluviométrico influenciam no processo de sequestro de carbono.

Sistemas florestais absorvem carbono enquanto a taxa de fotossíntese supera a taxa de respiração. Esta situação está vinculada ao crescimento do sistema, quando o sistema atingir o estágio clímax, a taxa de respiração se iguala à da fotossíntese e então não haverá nem emissões nem remoção de gases de efeito estufa, principalmente  $\text{CO}_2$  (MARTINS, 2004). A **Figura 8** ilustra este comportamento.

**Figura 8** - Variação simulada de fixação de carbono em reflorestamento de mata ciliar.



Fonte: MARTINS, 2004.

No contexto da paisagem regional, as formações ciliares estão sob condições muito específicas do ambiente, que acabam por diferenciá-las das formações do interflúvio (não ciliar). Muitas vezes, essas diferenças se expressam apenas nos parâmetros quantitativos das populações e outras vezes até a fisionomia da vegetação é alterada (RIBEIRO; WALTER, 1998 *apud* MARTINS, 2004).

O crescimento arbóreo é função de uma série de fatores, que podem ser classificados como internos (genéticos, fisiológicos, reprodutivos) e externos (chuva, temperatura, solo, competição, topografia), e que juntos podem promover ou inibir o crescimento arbóreo (KOZLOWSKI, 1963).

Um fator fundamental para o sucesso dos plantios consiste na escolha das espécies mais apropriadas a serem utilizadas. Priorizam-se as espécies do próprio ecossistema e da região do plantio, pois estas terão mais oportunidade de adaptação ao ambiente, além de garantir a conservação da diversidade regional (MARTINS, 2004).

A implantação do reflorestamento deve respeitar os conceitos de sucessão ecológica, o que além de reduzir os custos de implantação garante um desenvolvimento mais rápido e eficiente do sistema (MARTINS, 2004).

No Estado de São Paulo, os projetos de reflorestamento decorrentes de compensações ambientais devem respeitar o disposto na resolução da Secretaria do Meio Ambiente nº 32, de 03 de Abril de 2014, que estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. De acordo com a resolução, sugere-se a utilização, quando o total de mudas permitir, um mínimo de 80 espécies florestais nativas da região, respeitando a condição de que o total de indivíduos pertencentes a um mesmo grupo ecológico (pioneiro e não pioneiro) não exceda 60% do total dos indivíduos do plantio (SÃO PAULO, 2014).

O cálculo da biomassa em uma floresta é um instrumento essencial aos estudos ligados às mudanças climáticas. Por exemplo, o papel das florestas tropicais nos ciclos biogeoquímicos, especialmente os ciclos do carbono e a sua relação com o efeito estufa, tem aumentado o interesse em estimativas da biomassa nestas florestas (LACERDA et al., 2009).

A biomassa fornece estimativas nos reservatórios florestais de carbono, pois aproximadamente 50% dela é carbono (MACKDICKEN, 1997; MARTINS, 2004; IPCC, 2006).

A estimativa de biomassa e do potencial de fixação de carbono em projetos de reflorestamento pode ser obtida através de métodos diretos, que implicam no abate

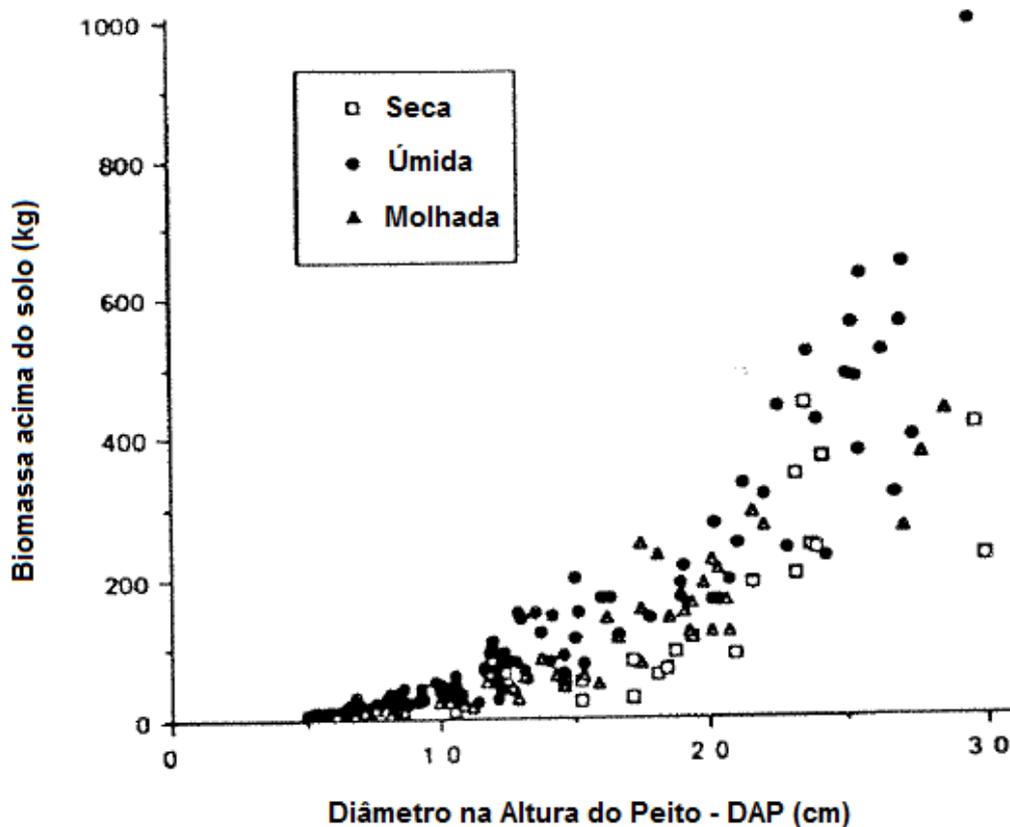
e posterior pesagem do material vegetal recolhido, e métodos indiretos, onde são utilizadas equações alométricas e/ou imagens de satélite (MACKDICKEN, 1997; MARTINS, 2004; MELO; DURIGAN, 2006; SILVA *et al.*, 2015).

Uma relação é dita alométrica quando uma característica física ou fisiológica sofre variação com o tamanho do organismo, apresentando assim grande importância nos estudos de comparação e da história de vida das espécies (BEGON *et al.*, 1986 *apud* MARTINS, 2004). O estudo das relações alométricas é utilizado para descrever relações quantitativas entre mudanças no tamanho de diversos organismos e uma variedade de características morfológicas, fisiológicas, de história de vida ou de comportamento (HARVEY; PAGEL, 1991).

As equações mais difundidas e validadas (IPPC, 2003) para a estimativa de biomassa acima do solo e estoque de carbono em florestas tropicais foram desenvolvidas por Brown *et al.* (1989). A partir da análise de mais de 250 árvores, os autores criaram equações que relacionam o estoque de carbono de acordo com a zona climática na qual a floresta está inserida, o diâmetro na altura do peito (DAP) das árvores, altura total e densidade básica da madeira. As equações podem ser aplicadas em modelos que trabalhem com um DAP mínimo de 5 cm e DAP máximo de 130 cm, podendo haver extrapolações desde que fixado um valor limite. A **Figura 9** apresenta a plotagem das amostras utilizadas pelos autores para elaboração das equações e a **Tabela 1** apresenta as equações.

Em outra publicação, dessa vez para a *Food and Agriculture Organization – FAO* (Organização de Alimento e Agricultura, em tradução livre do inglês) das Nações Unidas, Brown (1997) apresenta novas equações para a estimativa de biomassa de florestas tropicais, conforme apresentadas na **Tabela 2** e plotadas na **Figura 10**.

**Figura 9** – Relação entre biomassa total acima do solo com o DAP, conforme a zona climática da floresta.



Fonte: Adaptado de Brown *et al.* (1989).

**Tabela 1** - Equações alométricas de regressão para estimativa de biomassa total acima do solo em florestas tropicais de acordo com a zona climática. Y - biomassa total acima do solo (kg/árvore); D - Diâmetro na Altura do Peito (cm); H - Altura total (m); S - Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>).

Zona Climática	Equação	R <sup>2</sup> ajustado
Seca	$Y = 34,4703 - 8,0671 \times D + 0,6589 \times D^2$	0,67
	$Y = 38,4908 - 11,7883 \times D + 1,1926 \times D^2$	0,78
Úmida	$Y = \exp \{-3,1141 + 0,9719 \times \ln(D^2 \times H)\}$	0,97
	$Y = \exp \{-2,4090 + 0,9522 \times \ln(D^2 \times H \times S)\}$	0,99
Molhada	$Y = 13,2579 - 4,8945 \times D + 0,6713 \times D^2$	0,90
	$Y = \exp \{-3,3012 + 0,9439 \times \ln(D^2 \times H)\}$	0,90

Fonte: Adaptado de Brown *et al.* (1989).

A aplicação destas equações depende da zona climática na qual a floresta está inserida, estas zonas são:

- Zona Seca: onde a precipitação é superior ao potencial de evapotranspiração, com índices pluviométricos menores que 1500 mm/ano e um período de estiagem de vários meses.
- Zona Úmida: onde a precipitação é equivalente ao potencial de evapotranspiração, com índices pluviométricos entre 1500 e 4000 mm/ano e um período de estiagem curto.
- Zona Muito Úmida: onde a precipitação é superior ao potencial de evapotranspiração, com índices pluviométricos acima de 4000 mm/ano e ausência de períodos de estiagem.

**Tabela 2** - Equações de regressão para estimativa de biomassa em florestas tropicais. Y - biomassa por árvore (kg); D - diâmetro na altura do peito (cm); BA - área basal (cm<sup>2</sup>).

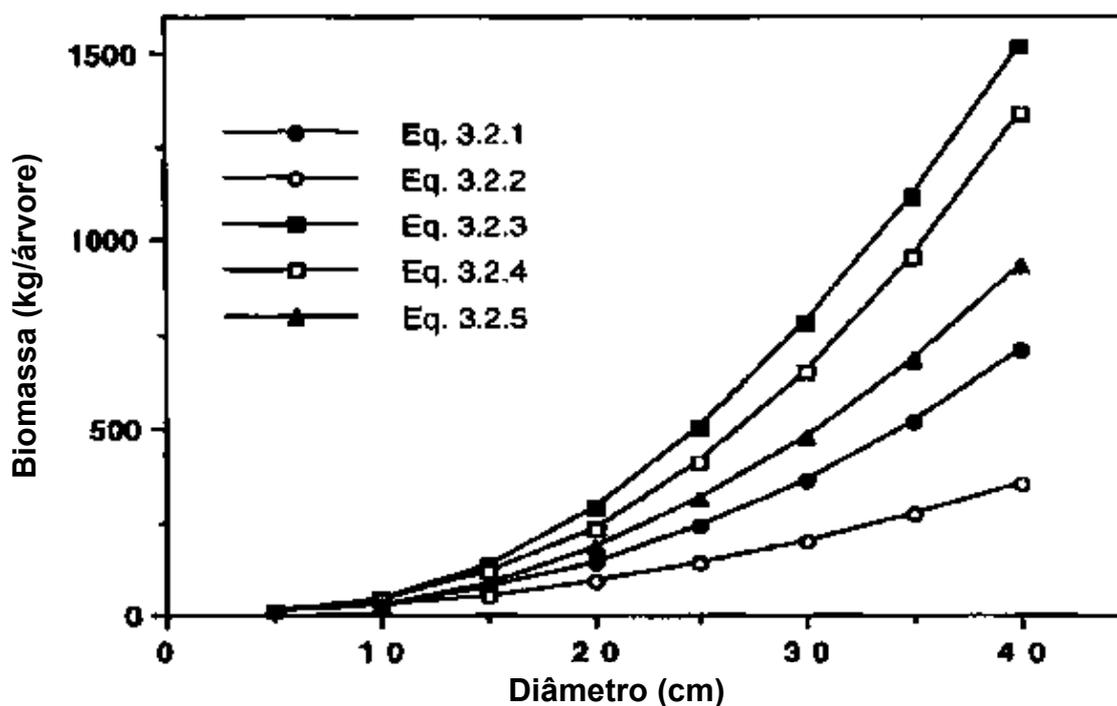
Nº equação	Zona Climática	Equação	DAP (cm)	R <sup>2</sup>
3.2.1	Seca	$Y = \exp\{-1.996+2.32*\ln(D)\}$	5-40	0,89
3.2.2		$Y = 10^{\{-0.535+\log_{10}(BA)\}}$	3-30	0,94
3.2.3	Úmida	$Y = 42.69-12.800(D)+1.242(D^2)$	5-148	0,84
3.2.4		$Y = \exp\{-2.134+2.530*\ln(D)\}$		0,97
3.2.5	Muito Úmida	$Y = 21.297-6.953(D)+0.740(D^2)$	4-112	0,92

Fonte: Adaptado de Brown (1997).

Apesar de apresentar equações gerais para a estimativa de biomassa e fixação de carbono de florestas tropicais, o IPCC recomenda que seja desenvolvida uma metodologia para cada situação, refletindo melhor a realidade de um projeto por se adequar melhor à sua escala (BROWN, 1997; IPCC, 2006).

Neste sentido, Lacerda *et al.* (2009) elaboraram equações alométricas que estimam a biomassa e o teor de carbono para espécies nativas amplamente utilizadas em áreas de restauração florestal no Estado de São Paulo, a partir da seleção de quatro áreas com plantios de essências nativas (**Tabela 3**).

**Figura 10** - Relação entre biomassa seca de florestas tropicais e o diâmetro na altura do peito.



Fonte: Adaptado de Brown (1997).

**Tabela 3** - Áreas do Estado de São Paulo inventariadas para estimar a biomassa e carbono.

Local	Plantio (mês/ano)	Área (ha)	Mudas plantadas (mil)
Penápolis-SP	Agosto/2000	25	50
Ibaté-SP	Março/2003	7,3	14,5
Valparaíso-SP	Janeiro/2002	14,7	25
Guaraçai-SP	Junho/2005	10	20

Fonte: Adaptado de Lacerda *et al.* (2009).

Lacerda *et al.* (2009) utilizaram o método direto para estimativa de biomassa e fixação de carbono, através do abatimento de 90 árvores de diferentes espécies e classes diamétricas. Os dados de biomassa do tronco, da galhada e total, DAP e altura total dos indivíduos abatidos foram utilizados para elaborar equações de biomassa para cada componente da parte da árvore, assim como o total da biomassa aérea. O modelo de equação que apresentou melhor ajustamento aos dados foi o que utiliza apenas o DAP como variável independente, conforme ilustrado na **Figura 11**, e é representado pela seguinte equação:

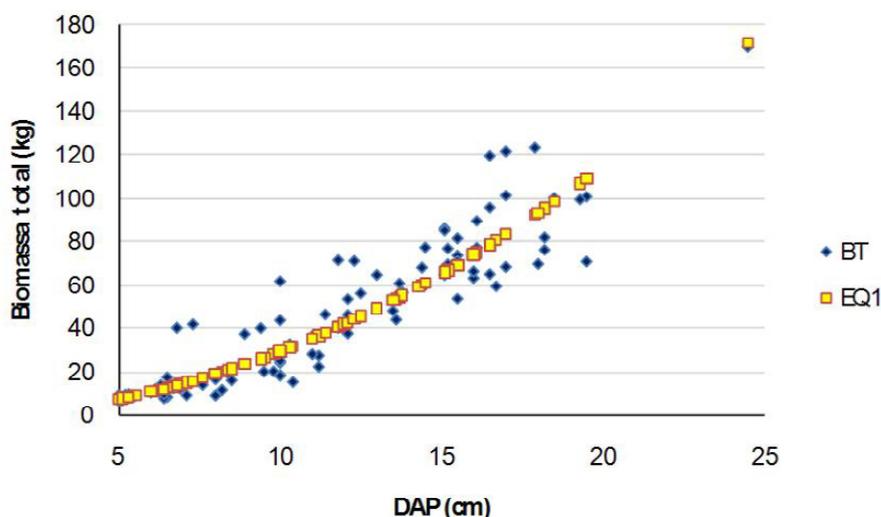
$$\ln(bT) = -1,19829 + 1,98391 \ln(d) \quad R^2 = 0,8656$$

Onde:

bT – biomassa total da parte aérea: tronco + galhada (kg)

d – diâmetro na altura do peito (cm)

**Figura 11** - Comparação dos valores observados e preditos pela equação de biomassa total (fuste + galhada) em relação ao DAP (cm). BT – biomassa total obtida pela coleta de dados dos indivíduos abatidos; EQ1 – valores de biomassa obtidos pela equação ajustada.



Fonte: Lacerda *et al.* (2009).

Observa-se que todas as equações apresentadas utilizam o diâmetro a altura do peito (DAP) como variável independente.

Ferreira *et al.* (2007) verificaram o Incremento Médio Anual de DAP das árvores utilizadas para a recuperação de uma área às margens do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargo, em Minas Gerais, concluindo que o desenvolvimento das mudas está vinculado diretamente ao gradiente topográfico do terreno e da resistência do solo à penetração. A **Tabela 4** apresenta os valores encontrados.

Além do serviço de fixação de carbono, Constanza *et al.* (1997) apontam outros serviços ecossistêmicos proporcionados pelas matas ciliares, conforme apresentado na **Tabela 5**.

**Tabela 4** - Grupo ecológico, altura média, diâmetro na altura do peito (DAP) médio, incremento médio anual (IMA) em altura e DAP das espécies do estrato arbóreo (DAP $\geq$ 5 cm) na área de empréstimo da Usina Hidrelétrica da Camargos, aos 155 meses de idade.

<b>Espécie</b>	<b>Altura média (m)</b>	<b>DAP médio (cm)</b>	<b>IMA H (m/ano)</b>	<b>IMA DAP (cm/ano)</b>
Acacia auriculiformis	7,9	23,4	0,6	1,8
Acacia mangium	8,8	17,8	0,7	1,4
Anadenanthera colubrina	10,8	18,1	0,8	1,4
Cecropia pachystachya	8,7	9,6	0,7	0,7
Cedrela fissili	7	10,7	0,5	0,8
Clitoria fairchildiana	12	25,5	0,9	2
Copaifera langsdorffii	6	8,6	0,5	0,7
Croton urucurana	6,6	8,6	0,5	0,7
Enterolobium contortisiliquum	7,5	34,3	0,6	2,7
Eriobotrya japonica	4,9	8	0,4	0,6
Erythrina falcata	8,4	18,6	0,6	1,4
Ficus sp	7,6	9,7	0,6	0,8
Inga affinis	13,5	34,4	1	2,7
Inga marginata	7	17	0,5	1,3
Lithraea molleoides	5,7	8,1	0,4	0,6
Machaerium villosum	12	28,7	0,9	2,2
Maclura tinctoria	7,8	10	0,6	1,2
Mimosa bimucronata	7,6	12,8	0,6	0,8
Mimosa caesalpiniaefolia	7,8	16,1	0,6	0,8
Muntingia calabura	7	12,3	0,5	1
Myrsine umbellata	6,8	7,2	0,5	0,6
Peltophorum dubium	6,9	9	0,5	0,7
Piptadenia gonoacantha	13,9	34,4	1,1	2,7
Platycyamus regnellii	7	8,1	0,5	0,6
Psidium guajava	5	6,6	0,4	0,5
Rapanea ferruginea	7,3	6,8	0,6	0,5
Schinus terebinthifolius	5,2	10,3	0,4	0,8
Sebastiania schottiana	5	6,2	0,4	0,6
Senna macranthera	5,8	7,7	0,4	0,6
Senna multijuga	7,6	10,7	0,6	1
Senna spectabilis	5,9	8,5	0,5	0,7
Syzygium jambolanum	6	12,2	0,5	0,9
Tapirira guianensi	7	7,2	0,5	0,6
Trema micrantha	8,6	13,9	0,7	1,1

Fonte: Adaptado de Ferreira *et al.* (2007).

Nesse mesmo estudo, estimou-se o valor econômico dos serviços prestados pelas florestas tropicais já consolidadas, atingindo US\$ 2.007,00/ha.ano. Em revisão ao estudo de 1997, Constanza *et al.* (2014) publicou um artigo onde os valores para os serviços ecossistêmicos mundiais foram revisados, sendo que os serviços proporcionados por florestas tropicais consolidadas passaram a representar um benefício de US\$ 5.382,00/ha.ano.

Torna-se evidente a relevância dos serviços ecossistêmicos e suas interações com a sociedade, além dos impactos causados por atividades antrópicas e pelo crescimento econômico sobre a capacidade dos ecossistemas de gerarem tais serviços essenciais à vida.

**Tabela 5** - Serviços ecossistêmicos proporcionados por matas ciliares, segundo Constanza *et al.* (1997).

Serviço Ambiental	Função Ambiental	Exemplo
Controle de distúrbios	Atenuar flutuações ambientais	Controle de enchentes, proteção à tempestades e outros aspectos de resposta do habitat para as variações bruscas do entorno, principalmente às relacionadas ao controle pela estrutura vegetal.
Controle da água	Controle dos fluxos hidrológicos	Fornecimento de água para a agricultura ou processos industriais.
Controle de erosão	Retenção do solo em um ecossistema	Prevenção da perda de solo por vento, água, etc
Formação de solo	Processo de formação de solo.	Acúmulo de matéria orgânica
Ciclagem de nutrientes	Armazenamento, ciclagem interna, processamento e captação de nutrientes	Fixação de nitrogênio e outros ciclos biogeoquímicos.
Controle biológico	Controle da dinâmica trófica das populações	Redução no número de herbívoros por predadores de topo de cadeia.
Produção de alimento	Porção da produção primária que pode ser retirada como comida	Produção de peixes, frutas, etc
Matérias primas	Porção da produção primária que pode ser extraída como matéria prima.	Produção de resinas, combustível, etc.

**Tabela 5 – Continuação.**

Recursos genéticos	Fonte de materiais biológicos e produtos	Remédios, banco genético para desenvolvimento de novos materiais e melhoramento genético de espécies domesticadas.
Recreação	Fornecer oportunidade para atividades de recreação	Ecoturismo, pesca esportiva e outras atividades de recreação
Cultural	Fornecer oportunidades para usos não comerciais.	Valores estéticos, artísticos, educacionais, espirituais e ou científicos.
Controle do clima	Regulação da temperatura global, precipitação e outros processos climáticos em escala global ou local	Controle de gases do efeito estufa
Fornecimento de água	Armazenamento e retenção de água	Armazenamento de água por lagos represas e aquíferos

Fonte: Adaptado de Martins (2004).

O reconhecimento dos serviços ecossistêmicos no planejamento urbano pode ser contemplado em programas que incentivam a população à preservar as florestas e serem remuneradas por isso. Segundo a Lei Municipal nº 15.046/16 (CAMPINAS, 2015b), os provedores de serviços ambientais recebem incentivos monetários ou não-monetários através de subprogramas, de acordo com o serviço prestado.

Os subprogramas para pagamento de serviços ambientais são:

- I. Subprograma de Incentivo a Serviços Ambientais - Carbono (ISA Carbono);
- II. Subprograma de Incentivo à Regulação do Clima (ISA Clima);
- III. Subprograma de Pagamento pela Conservação e Recuperação do Solo (PSA Solo);
- IV. Subprograma de Pagamento pela Conservação das Águas e dos Recursos Hídricos (PSA Água);
- V. Projeto de Conservação da Beleza Cênica Natural;
- VI. Projeto de Conservação da Sociobiodiversidade;
- VII. Projeto de Incentivo às Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN).

### **3.4 Precificação do carbono**

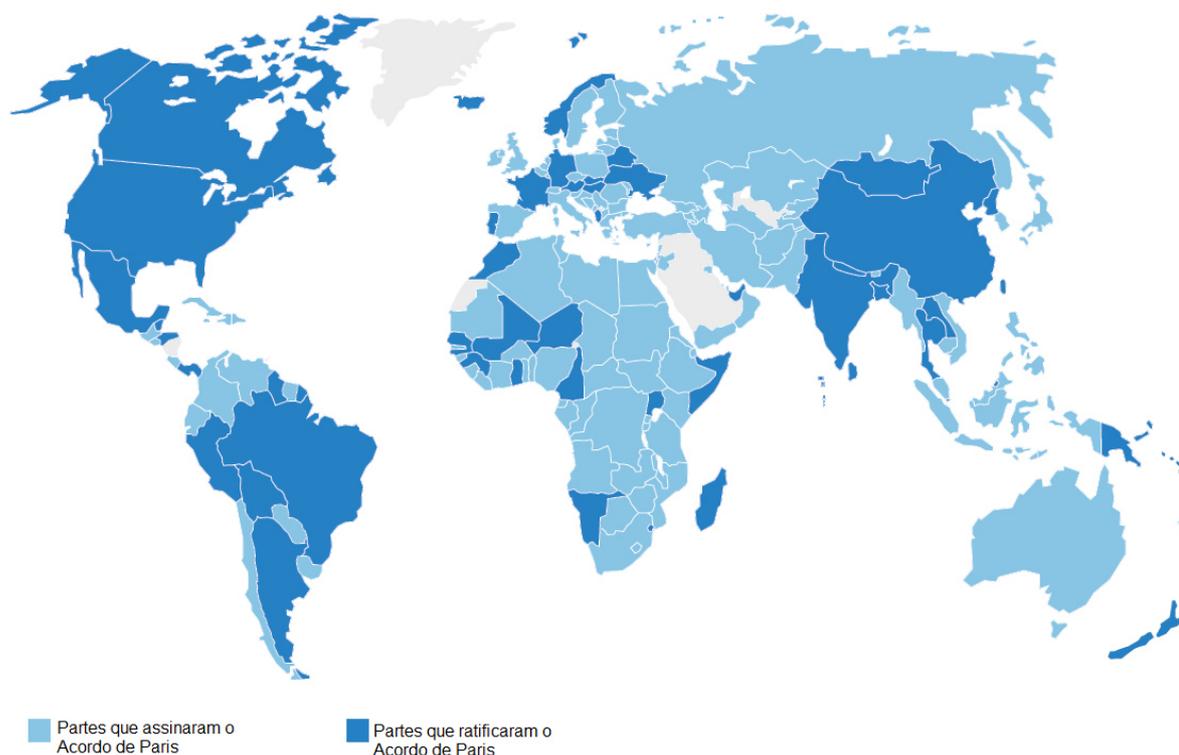
O ano de 2015 marcou o avanço na busca pela redução da emissão de gases responsáveis pelas mudanças climáticas. Entre os meses de novembro e dezembro,

na cidade de Paris, líderes mundiais se encontraram na 21ª Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, sigla em inglês) para discutir as metas a serem estabelecidas no combate às mudanças climáticas.

Segundo com o Acordo de Paris (ONU, 2015), como ficou conhecido, os países se comprometeram em manter o aumento da temperatura média mundial abaixo de 2 °C. Para tal, será necessária a redução dos gases responsáveis pelas mudanças climáticas, entre eles o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

A **Figura 12** apresenta as partes que assinaram e/ou ratificaram o Acordo de Paris, até o dia 05 de Outubro de 2016, data da publicação do relatório.

**Figura 12** - Partes que assinaram e/ou ratificaram o Acordo de Paris.



Fonte: Modificado de WBG, 2016.

O papel central da fixação do preço do carbono no apoio aos esforços de redução nas emissões de CO<sub>2</sub> fica estabelecido no Artigo 6 do Acordo de Paris. O artigo constitui uma base para facilitar o reconhecimento internacional das abordagens cooperativas em matéria de preços do carbono e identifica novos conceitos que podem abrir caminho a esta cooperação (WBG, 2016), seja através

do mercado formal ou do mercado voluntário. O preço do carbono pode ser interpretado de diversas formas, seja por carbono evitado ou por carbono emitido.

Segundo o relatório “Estado e tendências do preço do Carbono”, em tradução livre, publicado pelo Banco Mundial (WBG, 2016), as emissões contempladas em algum sistema de precificação de carbono, independentemente do mecanismo adotado, triplicou na última década. Cerca de 13% do total de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) no mundo estão compreendidas em algum formato de precificação. Estima-se que se a China aderir ao mercado de créditos de carbono no ano de 2017, baseada nas metas estabelecidas no Acordo de Paris, a precificação de GEE’s irá abranger de 20 a 25% do total de emissões do mundo (WBG, 2016).

Goldstein e Ruef (2016) acreditam que a meta estabelecida no Acordo de Paris não será atingida caso não ocorram políticas de investimento no combate ao desmatamento e incentivos a projetos de recuperação florestal.

As emissões provenientes do processo de desmatamento correspondem a 15% do total de emissões mundiais, contribuindo com três bilhões de toneladas de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq) por ano (GOLDSTEIN; RUEF, 2016).

A compensação de carbono, seja no mercado formal ou no mercado voluntário, é representada em tonelada de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq). A escala de variação do preço do carbono é muito ampla, com preços variando de menos de US\$1/tCO<sub>2</sub>-eq até US\$131/tCO<sub>2</sub>-eq, sendo que 75% das emissões precificadas estão abaixo de US\$10/tCO<sub>2</sub>-eq, conforme ilustrado na **Tabela 6** (IBRAHIM; KALAITZOGLOU, 2016; PEREZ-VERDIN, 2016; WBG, 2016; ZAKERI *et al.*, 2015).

O motivo pelo qual o preço do carbono apresenta uma grande variação é devido às diversas metodologias aplicadas na análise da valoração e da forma como o carbono é negociado (WBG, 2016).

Para que a precificação de carbono seja uma ferramenta efetiva no cumprimento da meta estabelecida no Acordo de Paris, estima-se que o preço do carbono deveria alcançar uma faixa entre US\$80/tCO<sub>2</sub>-eq e US\$120/tCO<sub>2</sub>-eq até o ano de 2030 (IPCC, 2014).

**Tabela 6** - Precificação do carbono em diferentes modalidades de precificação.

US\$/tCO <sub>2</sub> -eq	Localidade
1	Guangdong, Shanghai, Chongqing
2	Estonia, Tianjin, Hubei
3	Noruega, Japão, México
4	Letônia
5	União Européia
6	Shenzen
7	Portugal
8	Pequim
9	Suíça
10	Islândia
13	Nova Zelândia, Quebec, Califórnia
15	Alberta, Coréia do Sul, Saitama, Tokyo
19	Eslovênia
22	Irlanda
24	Reino Unido
25	França
26	Dinamarca
52	Noruega
60	Finlândia (outros combustíveis fósseis)
65	Finlândia (combustíveis líquidos)
86	Suíça
131	Suécia

OBS: Aquelas que aparecem mais de uma vez, porém com preços diferentes, possuem mais de uma modalidade de precificação. Para visualizar a listagem completa e as modalidades de precificação, consultar **Anexo II**.

Fonte: Adaptado de WBG (2016).

No mercado voluntário, os compradores buscam atender a demanda de empresas que pretendem reforçar suas estratégias de sustentabilidade e governança climática, valorizar suas marcas, diferenciar seus produtos, engajar *stakeholders*, dentre outros (GOLDSTEIN, 2016). A origem, os padrões utilizados e os benefícios socioambientais são avaliados pelo comprador, bem como a qualidade do projeto.

Já no mercado formal, segue-se uma lógica semelhante ao mercado das *commodities*. Seus compradores dão ênfase em atender uma meta obrigatória de compensação de emissões, motivo pelo qual a origem do crédito e tipo de projeto são menos relevantes (SUSTAINABLECARBON, 2016).

### 3.5 A utilização de cenários no planejamento ambiental

Com a descoberta do risco e com a menor sujeição da humanidade aos caprichos da natureza, a expectativa em relação ao futuro assume um papel importante como referência para as decisões e escolhas (BUARQUE, 2003).

Cenários são instrumentos de análise que permitem o conhecimento da evolução da paisagem a partir da interpretação dos rumos e das velocidades das transformações no espaço. Por possibilitarem a reflexão sobre as consequências das opções de usos e formas de ocupação do território, ajudam a orientar as ações atuais e futuras do homem (OLIVEIRA; SOUZA, 2012).

No terreno estritamente acadêmico, o Brasil apresenta as primeiras referências às técnicas de antecipação de futuro na década de 1970. Trabalhos com conteúdo teórico e metodológico sobre a prospecção de futuros surgem no fim da década, embora tenham sido muito pouco utilizados, na medida em que não existia, no mundo empresarial e governamental, uma percepção da importância da ferramenta (BUARQUE, 2003).

Em se tratando de uma abordagem direcionada à avaliação ambiental, os estudos baseados em cenários prospectivos devem oferecer um quadro fundamental da inter-relação entre fatores e processos dinâmicos atuantes na paisagem proporcionando, a partir da análise dos componentes estruturais e fatores condicionantes das mudanças, o estabelecimento de premissas e um caminho para decisões voltadas ao melhor planejamento e gestão dos ambientes estudados (OLIVEIRA; SOUZA, 2012).

Santos (2004) trata dos cenários numa ótica que considera os anseios dos agentes envolvidos e vislumbra as dimensões passado, presente e futuro, cada uma permitindo interpretações particulares de fatos: do passado - o que foi (cenário passado); do presente - o que é (cenário real) e do futuro - o que será se medidas não forem tomadas (cenário futuro tendencial), como deveria ser (cenário futuro ideal, frente às potencialidades e restrições biofísicas), como gostaria que fosse (cenário futuro desejado) e o que pode realmente ser (cenário futuro possível, alternativo, frente às restrições biofísicas, às aspirações e às limitações socioeconômicas e administrativas). Os cenários futuros representam “simulações

de diferentes situações, prognóstico das condições ambientais em um tempo mais ou menos próximo”.

Quanto aos cenários futuros, Oliveira e Souza (2012) os classificam em:

- Cenário Tendencial: refere-se ao que tende a acontecer, apresenta a evolução futura com base em projeções de tendências históricas, dando noção de continuidade (onde chegar ?);
- Cenário Exploratório: refere-se ao que pode acontecer, o futuro tem possibilidades alternativas de evolução dada pela conjugação de forças do presente e do passado (onde pode-se chegar ?);
- Cenário Normativo: refere-se ao que deve acontecer segundo os valores dos envolvidos com a construção do cenário, apresenta aspectos desejáveis e pode se confundir com uma visão utópica (onde se quer chegar ?).

As funções ecossistêmicas promovem dinâmicas variadas na natureza, tornando os ambientes mutáveis devido a fatores externos e que evoluem segundo leis próprias (LAURENTIS, 2008). Neste sentido, a utilização de cenários pode ser interpretada como a previsão das diferentes dinâmicas, o que Tricart (1977) considera como uma abordagem ecodinâmica.

## 4 Metodologia

### 4.1 Mapeamento das áreas verdes de Campinas

Utilizou-se os mapas disponíveis no documento “Plano Municipal do Verde”, do município de Campinas. Toda a base de dados está disponível na página eletrônica da Prefeitura Municipal de Campinas e no documento oficial, Plano Municipal do Verde - PMV, ambos de livre acesso ao público.

A Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SVDS de Campinas forneceu os arquivos originais dos mapas apresentados no Plano Municipal do Verde, em formato ‘shape’, contribuindo para uma análise de dados mais precisa e possibilitando ao autor a elaboração do próprio mapa.

A partir dos arquivos em formato *shapefile*, fornecidos pela SVDS, elaborou-se o mapa das Áreas de Preservação de Campinas com o intuito de categorizá-las em dois tipos. O critério de categorização foi o perímetro urbano do município de Campinas. As APPs inseridas no perímetro foram rotuladas de APPs urbanas, já as que não se inserem foram rotuladas de APPs rurais. Foi verificado se a somatória das APPs urbanas e rurais, categorizadas pelo autor, foi igual ao total de APPs levantadas e disponibilizadas no PMV.

### 4.2 Cenários propostos

Para efeito de cálculo do potencial de fixação de carbono, considerou-se o valor de implantação de um hectare, que corresponde ao plantio de 1.667 mudas no espaçamento 3 x 2 metros. Com base nestes valores, estimados para um hectare, foram elaborados três cenários distintos, de acordo com o potencial de reflorestamento das APPs urbanas degradadas, conforme apresentado na **Tabela 7**, a seguir.

**Tabela 7** - Total de área reflorestada de acordo com o potencial.

Cenário	Potencial de reflorestamento	Total de área reflorestada (ha)	Total de mudas
1	30%	828,90	1.381.776
2	60%	1.657,80	2.763.553
3	100%	2.763,00	4.605.921

Fonte: RUSCHEL, 2016.

Para cada cenário, estabeleceu-se quatro classes diamétricas de DAP: 5 cm, 10 cm, 15 cm e 20 cm, simulando o crescimento das mudas de maneira uniforme e simultânea, no tempo e espaço.

Aplica-se uma análise de custo-benefício em todos os cenários, comparando o custo de implantação do projeto, representado em  $\$/\text{tCO}_2\text{-eq}$ , com a somatória dos benefícios adicionais e a receita gerada pela venda dos créditos de carbono gerados em cada cenário. O valor de venda do crédito e dos benefícios adicionais altera-se de forma crescente entre cada cenário, considerando que ambos os valores passariam por uma valorização equivalente. Isto é, a variação no preço dos benefícios adicionais acompanharia a valorização do crédito de carbono.

No Cenário 1, considera-se que o crédito de carbono seria vendido a US\$ 10/ $\text{tCO}_2\text{-eq}$  e os benefícios gerados por serviços ecossistêmicos seria de US\$ 5.382/ha.ano.

No Cenário 2, simula-se uma valorização de 41,4% do crédito de carbono, baseada nas análises de mercado, passando a um preço de venda de US\$ 14,14/ $\text{tCO}_2\text{-eq}$ . Com isso, o valor dos benefícios adicionais acompanham esta valorização, sendo cotados, portanto, a US\$ 7.610,15/ha.ano.

No Cenário 3, simula-se uma valorização de 50% em relação ao valor praticado no Cenário 2. Dessa forma, o crédito passaria a ser vendido por US\$ 21,21/ $\text{tCO}_2\text{-eq}$  e o benefício adicional seria cotado a US\$ 11.415,23/ha.ano.

Em todos os cenários estima-se o custo total de implantação do projeto e o total de fixação de carbono e de  $\text{CO}_2\text{-eq}$ , além dos benefícios gerados por serviços ecossistêmicos adicionais, num período de 12 anos após o plantio atingir a classe diamétrica de 20 centímetros. Analisa-se a capacidade do município de Campinas em atender aos diferentes cenários. Esta análise baseia-se nos indicadores ambientais disponibilizados pelo município, são eles: arrecadação equivalente em firmamentos de compromissos ambientais e número de mudas plantadas no ano.

### 4.3 Cálculo do potencial de fixação de carbono

Para a estimativa da fixação de carbono adotou-se o método indireto, a partir de equações alométricas que determinam a biomassa seca acima do solo. As equações utilizadas são apresentadas na **Tabela 8**.

**Tabela 8** - Equações utilizadas para cálculo da fixação de carbono.

N	Equação	R <sup>2</sup>	Autor
1	$Y = \exp(-1,996 + 2,32 \times \ln(\text{DAP}))$	0,89	Brown (1997)
2	$Y = 34,4703 - 8,0671 \times \text{DAP} + 0,6589 \times \text{DAP}^2$	0,67	Brown (1989); IPCC (2003)
3	$Y = \exp(-1,19829 + 1,98391 \times \ln(\text{DAP}))$	0,86	Lacerda <i>et al.</i> (2009)

Onde: Y = Biomassa seca acima do solo por árvore (kg); DAP = diâmetro a altura do peito (cm);

O valor de biomassa obtido nas equações é dividido por mil para se obter o resultado em toneladas. O valor em toneladas é então multiplicado por 0,50 para obter as toneladas de carbono orgânico (IPCC, 2006).

A conversão de peso seco de biomassa em massa de carbono tem sido efetivada, baseada na relação que em uma tonelada de biomassa seca de madeira encontra-se entre 0,46 e 0,52 toneladas de carbono orgânico (MACKDICKEN, 1997; MARTINS, 2004; IPCC, 2006).

Para obtenção da estimativa de sequestro de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq), aplica-se o fator de expansão de 3,67, a fim de obter o peso molecular de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2006; PEARSON, 2005).

Para estimar o tempo de crescimento das mudas em cada classe diamétrica, utilizou-se a média do Incremento Médio Anual de DAP obtida no estudo de Ferreira *et al.* (2007). Os valores obtidos pelo autor são apresentados na **Tabela 4** (pág. 33).

A justificativa para a escolha das equações está atrelada à aplicabilidade das mesmas. As equações dependem única e exclusivamente de um único parâmetro, o DAP, reduzindo as fontes de erro quando comparado à inclusão da altura como variável na equação (BROWN *et al.*, 1989).

Além disso, estas equações foram utilizadas como metodologia em trabalhos (MELO; DURIGAN, 2006; TORRES *et al.*, 2013;) que avaliam o potencial de carbono da mesma fitofisionomia considerada neste trabalho, o que traz confiabilidade aos dados.

Comparou-se os valores obtidos pelas três equações para cada classe diamétrica. A partir desta comparação, adotou-se o menor valor obtido em cada classe.

#### 4.4 Precificação do carbono

Inicialmente, obteve-se o valor referente ao custo total de implantação no reflorestamento de uma área de um hectare. Este valor foi obtido através da pesquisa de mercado, onde foram consultadas duas empresas especializadas. Calculou-se então a média entre os dois valores, conforme apresentado na **Tabela 9**.

**Tabela 9** - Custo de implantação total do projeto de reflorestamento para um hectare. Todos os valores monetários estão em reais (R\$), exceto quando houver indicação.

Item		Empresa	
		1	2
Projeto de Reflorestamento		2000	2000
Execução	unidade	15	16,35
	total	25005	27255,45
Relatório de Execução	unidade	500	500
Manutenção (24) meses	unidade	0,35	1,95
	total	14002,8	39007,8
Total		41507,8	68763,25
Valor por muda		24,90	41,25
<b>Valor médio</b>		<b>R\$ 33,07/muda</b>	

Fonte: RUSCHEL, 2016.

Para a estimativa do custo associado à fixação de carbono utilizou-se o menor valor obtido entre as três equações utilizadas, para cada classe diamétrica.

Sendo assim, obtido o custo total de implantação de um hectare, divide-se pelo total de toneladas de carbono fixadas em cada classe diamétrica.

Além do custo associado à fixação de carbono, considerou-se o valor de US\$ 5.382/ha como benefícios obtidos por serviços ecossistêmicos adicionais, proporcionados por matas ciliares (CONSTANZA, 2014). Entretanto este valor só pode ser considerando para florestas consolidadas. Portanto, considerou-se os benefícios obtidos somente a partir da classe diamétrica de 20 cm, ou seja, a partir do 18º ano do plantio.

Para calcular o valor total obtido pelos serviços ecossistêmicos adicionais, fixou-se um prazo de 30 anos de análise, conforme diretrizes estabelecidas pelo IPCC (2006) para projetos de reflorestamento com finalidade de obtenção de créditos de carbono. Portanto, foi considerado o período de 12 anos, entre o 18º e 30º ano.

O valor referente aos benefícios proporcionados pelos serviços ecossistêmicos adicionais foi calculado em valor presente, para cada ano entre o período mencionado. Considerou-se uma taxa de juros anual de 10%.

O cálculo do valor presente foi obtido pela seguinte equação:

$$Vp = \frac{Vf}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Onde:

Vp – Valor presente (R\$)

Vf – Valor futuro (R\$)

i – Taxa de juros (anual)

n – número de anos

Dessa forma, o valor final associado ao custo da tonelada de carbono fixada foi obtido pela diferença entre o custo total de implantação e o valor dos benefícios adicionais.

A taxa de câmbio utilizada para a conversão da moeda brasileira (Real) em dólares americanos (US\$) foi de 3,40.

Para realizar os cálculos foi utilizado o software Microsoft Excel 2013.

#### **4.5 Seleção de espécies**

A relação de espécies sugerida para o reflorestamento de um hectare de APP degradada seguiu o disposto da Resolução nº 11/2013-PMC, que apresenta o Termo de Referência para elaboração de projetos de recuperação ambiental no município de Campinas, juntamente com o Decreto Municipal nº 18.859/2015, que dispõe sobre a compensação ambiental relativa a critérios de plantio e obrigações acessórias em áreas verdes do município de Campinas.

Uma vez definidas as espécies predominantes no município de Campinas, estabeleceu-se a composição florística de um hectare de reflorestamento.

Respeitando a condição mínima de 80 espécies florestais nativas regionais, e que o total dos indivíduos pertencentes a um mesmo grupo ecológico (pioneiro e não pioneiro) não exceda 60% do total dos indivíduos do plantio (SÃO PAULO, 2014), elaborou-se uma lista de espécies para o reflorestamento de um hectare de área degradada (apresentada no **Anexo I**).

Considerando um espaçamento de plantio de 3x2, ou seja, três metros entre colunas e dois metros entre linhas de plantio, a densidade de mudas para um hectare é de 1.666,67 (adotou-se 1.667 mudas).

## 5 Estudo de Caso – Áreas de Preservação Permanente de Campinas

O município de Campinas está localizado no Estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas 22°53'20" S e 47°04'40" O, a 680 metros acima do nível do mar, com uma precipitação média anual de 1.372 mm e temperatura média do ar de 21,4 °C. Segundo a classificação Köppen o clima é do tipo Cwa, com verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos (CAMPINAS, 2006; CEPAGRI, 2016).

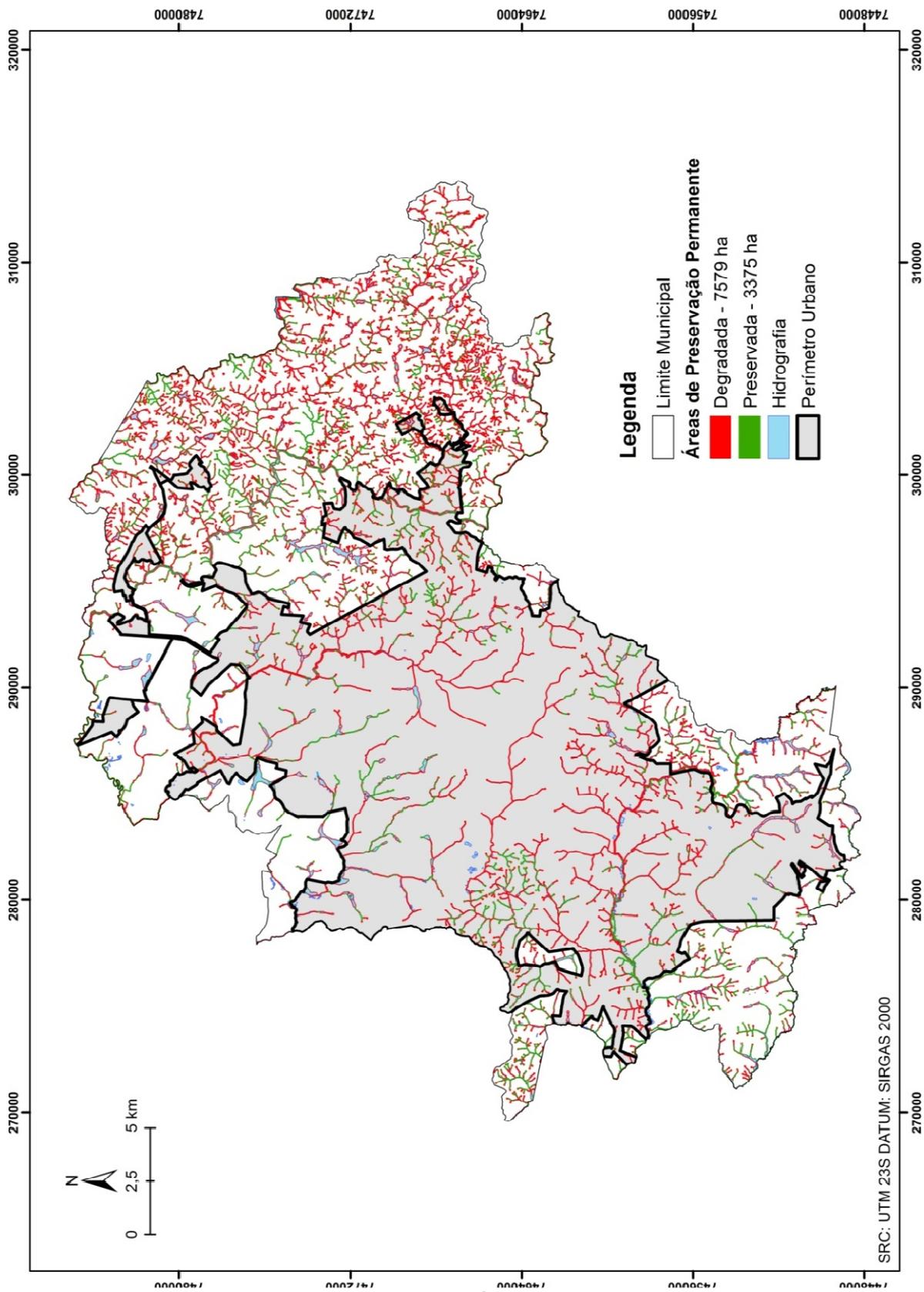
Tendo em vista que o presente trabalho objetiva analisar o potencial de fixação de carbono, assim como estabelecer cenários para as APP do município, as áreas contempladas neste estudo são caracterizadas como Áreas Verdes de função Ecológica. Isto segue a definição utilizada no Plano Municipal do Verde de Campinas.

A partir do mapeamento das Áreas de Preservação Permanente - APP do município de Campinas, apresentado no Plano Municipal do Verde (CAMPINAS, 2016), e dos arquivos originais em formato "shape", elaborou-se um mapa onde se distingue as APP's urbanas e rurais. A classificação das APP's baseou-se no perímetro urbano estabelecido no Plano Diretor de Campinas (CAMPINAS, 2006).

Neste trabalho, considerou-se uma APP degradada aquela que apresenta ausência de vegetação nativa, na qual poderiam ser implantados projetos de reflorestamento. Já as APPs preservadas, são aquela que desempenham suas funções ecológicas de forma satisfatória, onde a vegetação nativa é predominante e não há distúrbios antropogênicos.

A partir da elaboração do mapa apresentado na **Figura 13**, verificou-se que Campinas possui 10.594 hectares de APP ao longo dos cursos d'água, sendo que 7.579 hectares, cerca de 69%, apresentam algum estágio de degradação e somente 3.375 hectares são considerados preservados. Os valores calculados neste trabalho estão de acordo com os valores apresentados no PMV.

**Figura 13 - Áreas de Preservação de Campinas.** Considera-se APP urbana aquela inserida no perímetro urbano e APP rural aquela que se encontra fora do perímetro.



Após a delimitação entre áreas urbanas e rurais, elaborada a partir do perímetro urbano do município, obteve-se o resultado de 3.733 hectares de APP urbana (34% do total) e 7.221 hectares de APP rural (66%).

A **Tabela 10** apresenta a situação das APP's de Campinas, com base nos valores calculados.

**Tabela 10** - Situação das Áreas de Preservação Permanente de Campinas.

	<b>Campinas (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Urbanas (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Rurais (ha)</b>	<b>%</b>
Preservada	3375	31	970	26	2405	33
Degradada	7579	69	2763	74	4816	67
Total	10954		3733	34	7221	66

Fonte: RUSCHEL, 2016.

Observando a **Tabela 10**, nota-se que a proporção entre áreas degradadas e preservadas das APP's rurais se assemelha à proporção das APP's urbanas.

Surge, então, a necessidade de se estabelecer políticas públicas que fortaleçam a prática da recuperação destas áreas, sejam elas urbanas ou rurais, incentivando os atores envolvidos a adotarem práticas e costumes menos prejudiciais ao meio ambiente.

Uma das alternativas é o pagamento por serviços ambientais (ou serviços ecossistêmicos), prática recém instituída no município de Campinas para os proprietários de áreas com potencial de provisão, sejam elas áreas urbanas ou rurais.

Destaca-se o Subprograma de Incentivo a Serviços Ambientais – Carbono (ISA Carbono), cuja aplicação no meio urbano torna-se interessante, uma vez que a fixação de carbono através de reflorestamentos urbanos contribui para a qualidade de vida da população que ali habita.

Desta forma, propõe-se a estimativa de fixação de carbono em Áreas de Preservação Permanente do município de Campinas, assim como o custo associado a este serviço ecossistêmico.

## 5.1 Cálculo base de fixação de carbono

Visando subsidiar a elaboração dos cenários propostos na metodologia, a partir das equações alométricas selecionadas, calculou-se o valor base de fixação de carbono para uma área de 1 hectare, onde se propõe o plantio de 1.667 mudas de árvores nativas regionais.

Foram simuladas 4 classes diamétricas de acordo com o crescimento das mudas, assumindo que todo o plantio se desenvolva de maneira uniforme ao longo do tempo e do espaço. Conforme apresentado na revisão bibliográfica, sabe-se que o crescimento arbóreo é função de uma série de fatores que podem promover ou inibir o crescimento arbóreo (KOZLOWSKI, 1963).

Para estabelecer uma relação precisa entre o desenvolvimento das mudas e a fixação de carbono, haveria necessidade de trabalhos em campo para medição de DAP e caracterização das espécies de uma área de amostragem. Porém, entende-se que a técnica de reflorestamento deva ser implantada de acordo com as características específicas de cada local e, desse modo, a probabilidade de uma área apresentar 100% de potencial de reflorestamento é reduzida. Entretanto, a análise meticulosa de cada local de plantio acarretaria em altos custos e uma demanda de tempo elevada. Justifica-se, então, a opção do autor de trabalhar com cenários.

Dessa forma, definiu-se quatro classes diamétricas: 5 cm, 10 cm, 15 cm e 20 cm, simulando diferentes períodos de crescimento das mudas. Aplicou-se na sequência as equações genéricas de Brown *et al.* (1989) – **Equação 2** e Brown (1997) – **Equação 1**. A **Equação 3**, por ser mais específica, será apresentada na sequência. Após estimativa de fixação de carbono, estimou-se o valor de sequestro de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq) utilizando o fator de expansão de 3,67, seguindo a metodologia descrita neste trabalho. Os resultados são apresentados na **Tabela 11**, a seguir.

**Tabela 11** - Fixação de carbono das diferentes classes diamétricas para uma área de 1 hectare.

Área reflorestada (ha)					1
Total de mudas					1667
DAP (cm)	Equação	Biomassa acima do solo (t/ha)	Carbono (t/ha)	Carbono Equivalente - CO <sub>2</sub> (t/ha)	
5	1	9,477509404	4,7387547	17,39122976	
	2	17,6823691	8,84118455	32,4471473	
10	1	47,32425806	23,662129	86,84001355	
	2	32,8220631	16,4110316	60,22848579	
15	1	121,2315157	60,6157578	222,4598313	
	2	102,8810721	51,4405361	188,7867673	
20	1	236,3052682	118,152634	433,6201671	
	2	227,8593961	113,929698	418,1219918	

Fonte: RUSCHEL, 2016.

Nota-se que os valores obtidos pela **Equação 2** foram superiores em relação aos valores obtidos pela **Equação 1** em todas as classes, com exceção da classe 5 cm.

Apesar de ambas as equações serem aplicáveis à mesma faixa de DAP (5 – 40 cm), Brown *et al.* (1989) e Brown (1997) alertam que o número de amostras com DAP  $\leq$  5 cm utilizadas na elaboração das equações foi pequeno, o que explicaria o comportamento identificado na classe de 5 cm.

Entretanto, foi necessário simular um estágio inicial de desenvolvimento das mudas, considerando um DAP de 5 cm, caso contrário, a fase inicial de desenvolvimento das mudas seria desconsiderada no cálculo de fixação.

Para determinar o tempo necessário até que as mudas atinjam as classes diamétricas estabelecidas, utilizou-se o Incremento Médio Anual de DAP de 1,10 cm/ano, conforme apontado na metodologia.

A **Tabela 12** apresenta o tempo de crescimento referente a cada classe diamétrica e os respectivos Incrementos Médios Anuais de Carbono e CO<sub>2</sub>-eq.

**Tabela 12** - Tempo de crescimento necessário de cada classe diamétrica e respectivos Incrementos Médios Anuais de Carbono e de CO<sub>2</sub>-eq.

Área reflorestada (ha)								1
Total de mudas								1667
DAP (cm)	Equação	Biomassa acima do solo (t/ha)	Carbono (t/ha)	Carbono Equivalente - CO <sub>2</sub> (t/ha)	Tempo de crescimento (anos)	IMA Carbono (t/ha.ano <sup>-1</sup> )	IMA CO <sub>2</sub> -eq. (t/ha.ano <sup>-1</sup> )	
5	1	9,478	4,739	17,391	4,545	1,043	3,826	
	2	17,682	8,841	32,447		1,945	7,138	
10	1	47,324	23,662	86,840	9,091	2,603	9,552	
	2	32,822	16,411	60,228		1,805	6,625	
15	1	121,232	60,616	222,460	13,636	4,445	16,314	
	2	102,881	51,441	188,787		3,772	13,844	
20	1	236,305	118,153	433,620	18,182	6,498	23,849	
	2	227,859	113,930	418,122		6,266	22,997	

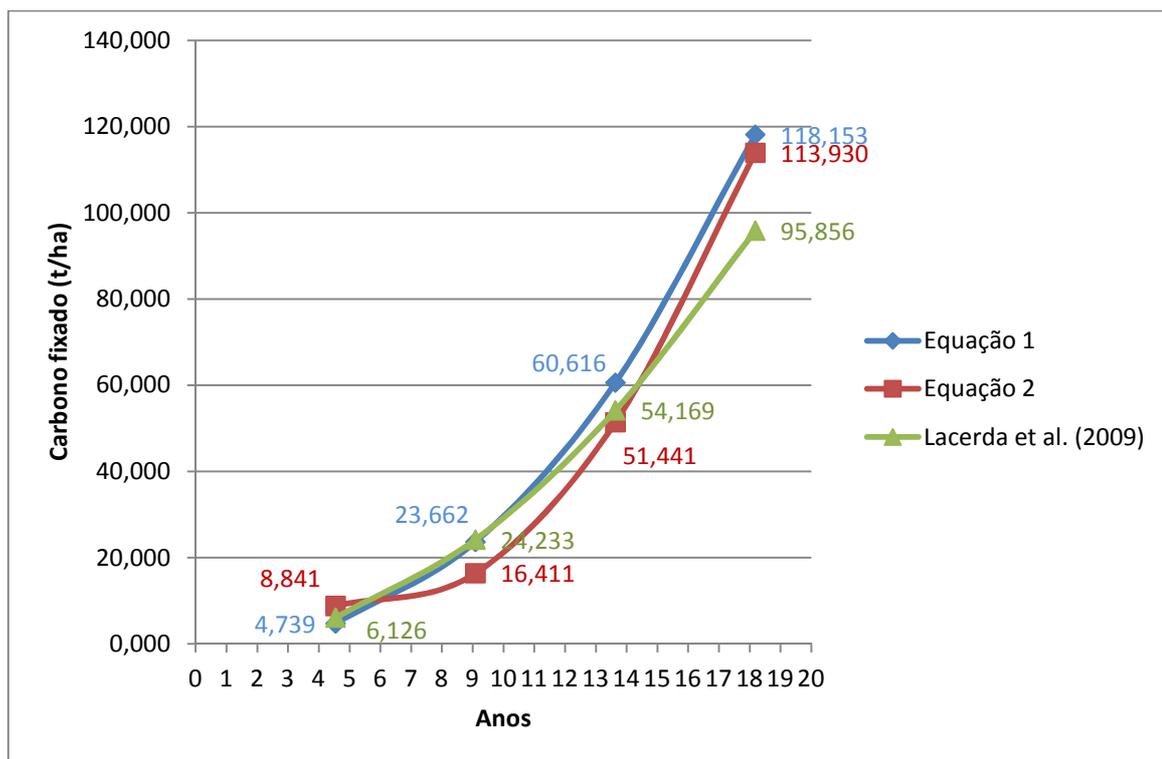
Fonte: RUSCHEL, 2016.

Observa-se que tanto o incremento médio anual de fixação de carbono quanto o de CO<sub>2</sub>-eq. apresentam variações de acordo com as classes diamétricas, sugerindo um crescimento não-linear deste serviço ecossistêmico. Este comportamento está em consonância com o que foi discutido no item 3.3 da revisão bibliográfica, que diz que os sistemas florestais absorvem carbono enquanto a taxa de fotossíntese supera a taxa de respiração.

A partir da equação de biomassa aérea elaborada por Lacerda *et al.* (2009), conforme apresentada na revisão bibliográfica, elaborou-se a curva de fixação de carbono para todas as equações, permitindo então a comparação dos resultados por elas.

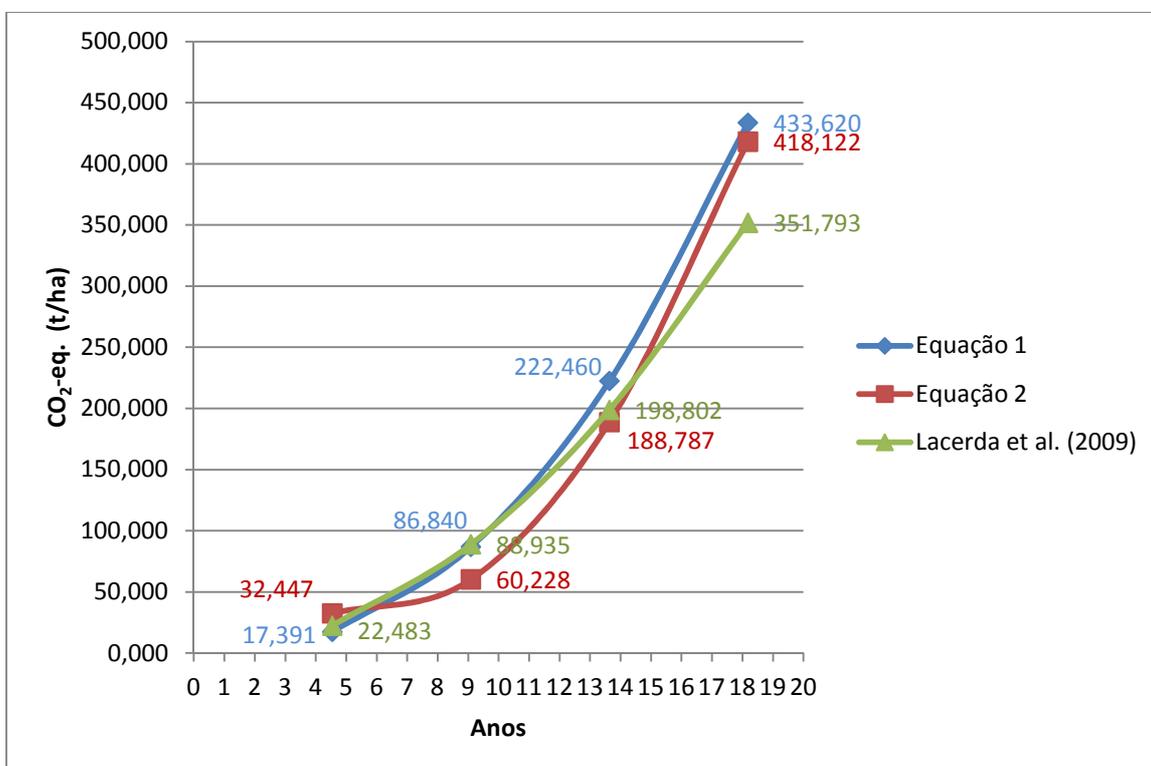
Ao analisar o desenvolvimento das equações, verifica-se uma tendência ao comportamento similar em todas elas. Apesar das três equações apresentarem uma curva semelhante, a curva referente ao estudo de Lacerda *et al.* (2009) possui, para períodos maiores, um caráter mais conservador. As curvas de fixação de carbono e de fixação de CO<sub>2</sub>-eq. estão ilustradas nas **Figuras 14 e 15**, respectivamente.

**Figura 14 – Comparação entre as curvas de fixação de carbono.**



Fonte: RUSCHEL, 2016

**Figura 15 - Curvas de fixação de CO<sub>2</sub>-eq.**



Fonte: RUSCHEL, 2016

Uma vez caracterizada a semelhança entre as curvas de fixação de carbono e de CO<sub>2</sub>-eq, conforme apresentado na metodologia, optou-se por adotar uma abordagem conservadora na estimativa do custo associado a este serviço ecossistêmico, adotando-se o menor valor de fixação de CO<sub>2</sub>-eq obtido em cada classe diamétrica.

Para a classe de 5 cm, obteve-se o menor valor através da utilização da equação de Brown (1997) – **Equação 1**.

Para as classes diamétricas de 10 cm e 15 cm, a equação de Brown (1989) – **Equação 2** foi a que estimou a menor fixação.

Somente na classe de 20 cm é que a equação de Lacerda *et al.* (2009) – **Equação 3** estima o menor valor entre as três.

A **Tabela 13** apresenta os valores obtidos pelas três equações.

**Tabela 13** - Comparação da fixação de carbono e CO<sub>2</sub>-eq. entre todas as equações utilizadas, com destaque àquelas utilizadas para a estimativa do valor associado.

Área reflorestada (ha)						1
Total de mudas						1667
DAP(cm)	Equação	Biomassa acima do solo (t/ha)	Carbono fixado (t/ha)	Fixação de CO <sub>2</sub> -eq. (t/ha)	Tempo de crescimento (ano)	
5	<b>1</b>	<b>9,478</b>	<b>4,739</b>	<b>17,391</b>		
	2	17,682	8,841	32,447	4,545	
	3	12,252	6,126	22,483		
1	47,324	23,662	86,840			
10	<b>2</b>	<b>32,822</b>	<b>16,411</b>	<b>60,228</b>	9,091	
	3	48,466	24,233	88,935		
15	1	121,232	60,616	222,460	13,636	
	<b>2</b>	<b>102,881</b>	<b>51,441</b>	<b>188,787</b>		
	3	108,339	54,169	198,802		
20	1	236,305	118,153	433,620	18,182	
	2	227,859	113,930	418,122		
	<b>3</b>	<b>191,713</b>	<b>95,856</b>	<b>351,793</b>		

Fonte: RUSCHEL, 2016.

Com base em pesquisa de mercado e na experiência do autor em projetos de reflorestamento, o valor de referência de plantio utilizado foi de R\$ 33,07 por muda. Este valor engloba a elaboração do projeto de reflorestamento e aprovação junto ao

órgão competente, a aquisição das mudas, mão-de-obra para plantio, adubação, roçada, tutores de bambu, elaboração do relatório de execução do plantio e uma manutenção inicial de dois anos. Este é o prazo mínimo estabelecido pela legislação municipal e é adotado em todas as compensações ambientais do município de Campinas.

Uma vez definidos os valores de fixação de carbono e o custo de implantação de um hectare de reflorestamento, calculou-se o custo associado ao serviço ecossistêmico de fixação de carbono, considerando os menores valores obtidos entre as três equações, conforme a **Tabela 14**.

**Tabela 14** - Custo associado ao serviço ecossistêmico de fixação de CO<sub>2</sub>-eq considerando uma taxa de câmbio do dólar americano de 3,40.

<b>Área reflorestada (ha)</b>						1
<b>Total de mudas</b>						1667
<b>Custo (R\$/muda)</b>						33,07
<b>Custo de implantação (R\$/ha)</b>						55127,69
<b>DAP (cm)</b>	<b>Carbono fixado (t/ha)</b>	<b>Fixação de CO<sub>2</sub>-eq. (t/ha)</b>	<b>Tempo de crescimento (ano)</b>	<b>CO<sub>2</sub>-eq</b>		
				<b>R\$/t</b>	<b>US\$/t</b>	
5	4,739	17,391	4,545	3169,86	932,31	
10	16,411	60,228	9,091	915,31	269,21	
15	51,441	188,787	13,636	292,01	85,89	
20	95,856	351,793	18,182	156,70	46,09	

Fonte: RUSCHEL, 2016.

Ressalta-se que, neste trabalho, limitou-se à simulação do desenvolvimento das árvores até um DAP de 20 centímetros, num intervalo de 18 anos. Entretanto, sabe-se que as árvores continuam seu desenvolvimento, com espécies ultrapassando, facilmente, 30 centímetros de DAP (BROWN *et al.*, 1989; MARTINS, 2004; MELO; DURIGAN, 2006; PREISKORN, 2011; TORRES *et al.*, 2013). Como anteriormente mencionado,, foram utilizados os menores valores obtidos entre as três equações, resultando em uma estimativa de fixação de carbono conservadora.

Considerando que 75% dos preços atribuídos ao carbono estão abaixo de US\$10/tCO<sub>2</sub>-eq (WBG, 2016), fica claro que o custo de US\$46/tCO<sub>2</sub>-eq, em um horizonte de aproximadamente 18 anos, seria um empecilho para viabilizar o projeto de reflorestamento com a finalidade de obtenção e venda de créditos de carbono.

Entretanto, Constanza *et al.* (1997, 2014) apontam que a prática de reflorestamento contribui com outros serviços ecossistêmicos após a formação de uma floresta. Estima-se que as florestas tropicais gerem benefícios da ordem de US\$ 5.382,00/ha.ano (CONSTANZA *et al.*, 2014).

Sendo assim, para analisar se o custo total do projeto de reflorestamento seria compensado pelo valor do crédito de carbono, somado aos benefícios dos demais serviços ecossistêmicos proporcionados por florestas consolidadas, e assumindo que o custo total de implantação do reflorestamento seja pago em uma única vez, pode-se aplicar a análise de custo benefício ao projeto.

Para tal, é necessário calcular o valor presente (**Equação 4**) referente aos benefícios obtidos pelos serviços ecossistêmicos prestados pela floresta, capaz de garantir a real provisão de tais serviços. No caso deste trabalho, considera-se que a floresta é capaz de proporcionar os serviços adicionais, somente a partir do momento em que as árvores atingem um DAP de 20 centímetros.

Entretanto, como os serviços ecossistêmicos adicionais só passarão a contribuir a partir do 18º ano, faz-se necessário estabelecer um período maior de análise.

De acordo com o guia de projetos de compensação de carbono do IPCC (2006), para a elaboração de projetos de reflorestamento deve-se considerar um horizonte de 30 anos.

Portanto, os benefícios gerados pelos demais serviços ecossistêmicos proporcionados após o reflorestamento, deverão ser contabilizados entre os anos 18 e 30, o que resulta num período de contribuição de 12 anos de serviços adicionais.

Considerando uma taxa anual de juros de 10% e uma taxa de câmbio do dólar americano de 3,40, o benefício obtido pelos serviços ecossistêmicos adicionais no período entre o 18º e 30º ano é de US\$ 7.547,01/ha. Ao considerar este benefício no reflorestamento de 1 hectare, o custo para cada tonelada de CO<sub>2</sub>-eq reduziria em mais de 46%, passando de US\$ 46,09 para US\$ 24,64.

Conforme discutido na revisão bibliográfica (IPCC, 2014; WBG, 2016), para que a precificação do carbono torne-se uma ferramenta adequada na redução das

mudanças climáticas, o valor por tonelada de CO<sub>2</sub>-eq deveria variar entre US\$80 e US\$120 até o ano de 2030 (IPCC, 2014). Portanto, reduzindo o custo da tonelada de CO<sub>2</sub>-eq ao considerar os benefícios adicionais de uma floresta desenvolvida, a utilização de um mercado baseado na precificação de carbono torna-se uma estratégia economicamente viável.

Uma vez realizados os cálculos para o reflorestamento de um único hectare, aplica-se então a mesma metodologia para estimar os valores de fixação de CO<sub>2</sub>-eq e o custo associado a este serviço ecossistêmico nos diferentes cenários de recuperação das Áreas de Preservação Permanente de Campinas. Ressalta-se que todas as estimativas serão realizadas com base na fixação de CO<sub>2</sub>-eq para árvores com DAP de 20 centímetros, ao final de um período de 18 anos.

## **5.2 Cenário 1 – 30% de potencial de reflorestamento de APPs**

Considerando que o total de APPs urbanas que apresentam algum nível de degradação é de 2.763 hectares, um potencial de 30% de reflorestamento representa uma área de 828,90 hectares, a ser coberta por 1.381.776 mudas (1.667 mudas/ha). Considerando o valor de implantação de R\$ 33,07/muda, o custo total para recuperação desta área seria de R\$ 45.695.342,24, ou US\$ 13.439.806,54. A **Tabela 15** apresenta os valores obtidos para cada classe diamétrica, com destaque para os menores valores obtidos em cada classe.

De acordo com a **Tabela 15**, estima-se que neste cenário de reflorestamento, ao atingir a classe de 20 cm de DAP, seriam fixadas 291.601,324 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq. A partir desta classe diamétrica, considera-se que o reflorestamento atinge o máximo de fixação de carbono, onde a taxa de fotossíntese se iguala à taxa de respiração. Desse modo, o reflorestamento passaria a contribuir somente com os serviços ecossistêmicos adicionais, estimados em US\$ 5.382,00/ha.ano. Trazendo a valor presente o benefício total obtido entre o 18<sup>a</sup> e o 30<sup>o</sup> ano, seriam gerados US\$ 6.255.714,24 (vide **Anexo III**).

**Tabela 15** - Resumo dos valores obtidos para o Cenário 1.

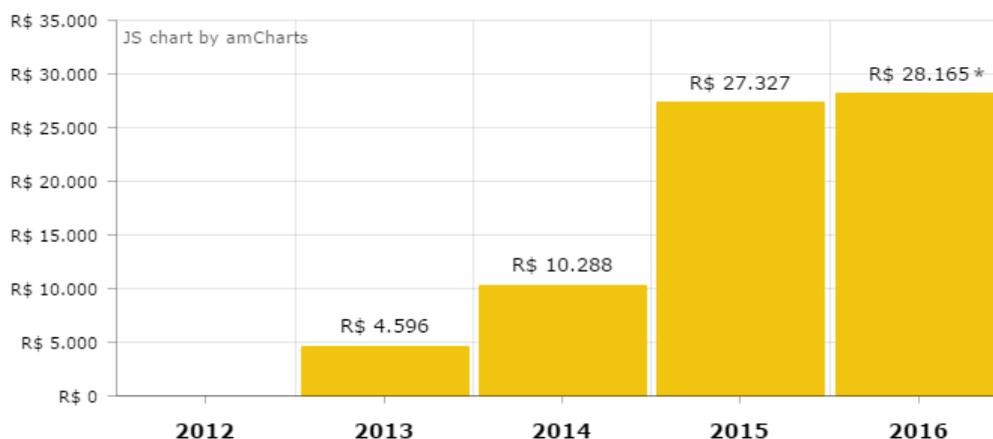
Área reflorestada (ha)									828,90
Total de mudas									1.381.776
Custo (\$/muda)							R\$ 33,07	US\$ 9,73	
Custo de implantação							R\$ 45.695.342,24	US\$ 13.439.806,54	
DAP (cm)	Equação	Biomassa acima do solo (t)	Carbono fixado (t)	Fixação de CO <sub>2</sub> -eq. (t)	Tempo de crescimento (ano)	Carbono (R\$/t)	CO <sub>2</sub> -eq. (R\$/t)	CO <sub>2</sub> -eq. (US\$/t)	
5	<b>1</b>	<b>7855,908</b>	<b>3927,954</b>	<b>14415,590</b>	<b>4,545</b>	<b>11633,37</b>	<b>3169,86</b>	<b>932,31</b>	
	2	14656,916	7328,458	26895,440	4,545	6235,33	1699,00	499,71	
	3	10155,951	5077,975	18636,170	4,545	8998,73	2451,97	721,17	
10	1	39227,078	19613,539	71981,687	9,091	2329,79	634,82	186,71	
	<b>2</b>	<b>27206,208</b>	<b>13603,104</b>	<b>49923,392</b>	<b>9,091</b>	<b>3359,18</b>	<b>915,31</b>	<b>269,21</b>	
	3	40173,253	20086,627	73717,920	9,091	2274,91	619,87	182,31	
15	1	100488,803	50244,402	184396,954	13,636	909,46	247,81	72,89	
	<b>2</b>	<b>85278,121</b>	<b>42639,060</b>	<b>156485,351</b>	<b>13,636</b>	<b>1071,68</b>	<b>292,01</b>	<b>85,89</b>	
	3	89802,042	44901,021	164786,748	13,636	1017,69	277,30	81,56	
20	1	195873,437	97936,718	359427,757	18,182	466,58	127,13	37,39	
	2	188872,653	94436,327	346581,319	18,182	483,87	131,85	38,78	
	<b>3</b>	<b>158910,803</b>	<b>79455,402</b>	<b>291601,324</b>	<b>18,182</b>	<b>575,11</b>	<b>156,70</b>	<b>46,09</b>	

Fonte: RUSCHEL, 2016.

Segundo os dados oficiais da Secretaria do Verde e Desenvolvimento de Campinas - SVDS (disponíveis em <http://ambientecampinas.wixsite.com/cidadaniaambiental/macorindicadores>), no ano de 2015 o município firmou R\$ 27.327.000,00 em compromissos ambientais (Termos de Ajustamento de Conduta – TAC e Termos de Compromisso Ambiental – TCA), conforme ilustrado na **Figura 16**, e plantou 67.471 mudas (**Figura 17**).

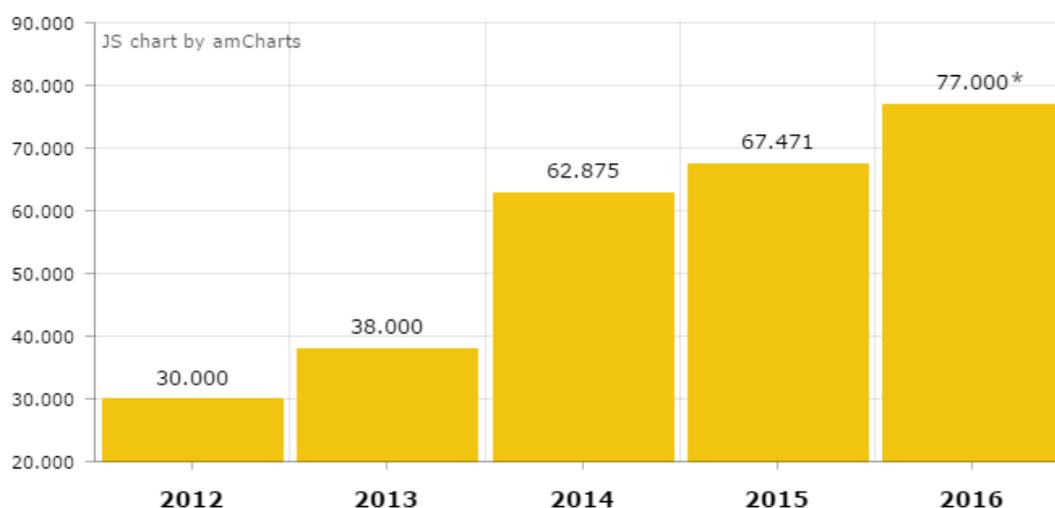
Entretanto, nem toda a verba referente aos compromissos foi direcionada ao plantio de árvores, pois os Termos de Ajustamento de Conduta, geralmente, contemplam outras medidas compensatórias que geram benefícios socioambientais, tais como: construção de praças, atividades de educação ambiental, oficinas de artesanato, dentre outras.

Portanto, para estimar o montante destinado exclusivamente para o plantio de mudas, utiliza-se o valor base de R\$ 96,11/muda, determinado pela própria secretaria na Resolução nº 04/2015 (CAMPINAS, 2015a). Ressalta-se que o valor definido pela SVDS não reflete os valores praticados no mercado, conforme demonstrado na **Tabela 9**.

**Figura 16** - Compromissos ambientais firmados junto à SVDS em R\$ mil.

\* Dados até março/2016.

Fonte: SVDS, 2016 (<http://ambientecampinas.wixsite.com/cidadaniaambiental/tacs>).

**Figura 17** - Total de mudas plantadas pela SVDS.

\* Meta para o final do ano de 2016.

Fonte: SVDS, 2016 (<http://ambientecampinas.wixsite.com/cidadaniaambiental/mudas>).

Com isso, do montante de compromissos ambientais firmados em 2015, estima-se que somente R\$ 6.484.637,81 foram destinados exclusivamente à prática de reflorestamento, representando cerca de 24% do montante firmado.

Mesmo que o município direcionasse todo o montante arrecadado pelos compromissos ambientais para a prática de reflorestamento, não seria possível cobrir os custos de implantação das 1.381.776 mudas necessárias para atingir o cenário proposto.

Considerando o valor de mercado de R\$ 33,07/muda, o valor arrecadado em 2015 cobriria somente o plantio de 826.338 mudas, o que representa 60% do total de mudas que deveriam ser plantadas neste cenário.

Considerando que o município mantenha um plantio anual de 70.000 mudas por ano, seriam necessários 19,74 anos para que 30% das APPs urbanas de Campinas estivessem completamente cobertas com mudas, com base nas premissas adotadas neste cenário.

Uma alternativa para aumentar a arrecadação do município e viabilizar a recuperação das APPs em um tempo menor, seria a criação de um mercado para a comercialização dos créditos de carbono gerados pelos projetos de reflorestamento.

Neste caso, somente o município poderia negociar os créditos, uma vez que os projetos de reflorestamento são compulsórios, gerados a partir de um termo de compensação ambiental, o que não permite que o causador do dano ambiental seja beneficiado pela própria compensação.

Sendo assim, supondo que o município comercialize o crédito no valor de US\$ 10,00/tCO<sub>2</sub>-eq, seria gerada uma receita de US\$ 6.255.714,24, isto é, 21,70% do custo de implantação seria coberto pela venda dos créditos.

Somando-se o valor arrecadado pela venda dos créditos aos benefícios obtidos pelos serviços ecossistêmicos adicionais, estima-se que seriam recuperados US\$ 9.171.727,49, restando US\$ \$4.268.079,05 para recuperar o valor referente ao custo total de implantação do projeto.

### **5.3 Cenário 2 – 60 % de potencial de reflorestamento de APPs**

Considerando que o total de APPs urbanas que apresenta algum nível de degradação é de 2.763 hectares, um potencial de 60% de reflorestamento representa uma área de 1.657,80 hectares, a ser coberta por 2.763.553 mudas (1.667 mudas/ha). Considerando o valor de implantação de R\$ 33,07/muda, o custo total para recuperação desta área seria de R\$ 91.390.684,48, ou US\$ 26.879.613,08. Estima-se que neste cenário de reflorestamento, ao atingir a classe de 20 cm de DAP, seriam fixadas 583.202,649 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq.

A **Tabela 16** apresenta os valores obtidos para cada classe diamétrica, com destaque para os menores valores obtidos em cada classe.

**Tabela 16** - Resumo dos valores obtidos para o Cenário 2.

Área reflorestada (ha)									1.657,80
Total de mudas									2.763.553
Custo (\$/muda)							R\$ 33,07	US\$ 9,73	
Custo de implantação							R\$ 91.390.684,48	US\$ 26.879.613,08	
DAP (cm)	Equação	Biomassa acima do solo (t)	Carbono fixado (t)	Fixação de CO <sub>2</sub> -eq. (t)	Tempo de crescimento (ano)	Carbono (R\$/t)	CO <sub>2</sub> -eq. (R\$/t)	CO <sub>2</sub> -eq. (US\$/t)	
5	<b>1</b>	<b>15711,815</b>	<b>7855,908</b>	<b>28831,181</b>	<b>4,545</b>	<b>11633,37</b>	<b>3169,86</b>	<b>932,31</b>	
	2	29313,831	14656,916	53790,881	4,545	6235,33	1699,00	499,71	
	3	20311,901	10155,951	37272,339	4,545	8998,73	2451,97	721,17	
10	1	78454,155	39227,078	143963,374	9,091	2329,79	634,82	186,71	
	<b>2</b>	<b>54412,416</b>	<b>27206,208</b>	<b>99846,784</b>	<b>9,091</b>	<b>3359,18</b>	<b>915,31</b>	<b>269,21</b>	
	3	80346,507	40173,253	147435,840	9,091	2274,91	619,87	182,31	
15	1	200977,607	100488,803	368793,908	13,636	909,46	247,81	72,89	
	<b>2</b>	<b>170556,241</b>	<b>85278,121</b>	<b>312970,703</b>	<b>13,636</b>	<b>1071,68</b>	<b>292,01</b>	<b>85,89</b>	
	3	179604,085	89802,042	329573,496	13,636	1017,69	277,30	81,56	
20	1	391746,874	195873,437	718855,513	18,182	466,58	127,13	37,39	
	2	377745,307	188872,653	693162,638	18,182	483,87	131,85	38,78	
	<b>3</b>	<b>317821,607</b>	<b>158910,803</b>	<b>583202,649</b>	<b>18,182</b>	<b>575,11</b>	<b>156,70</b>	<b>46,09</b>	

Fonte: RUSCHEL, 2016.

Para este cenário, considera-se uma valorização de 41,40% nos benefícios gerados pelos serviços ecossistêmicos adicionais. Esta valorização baseou-se no preço mínimo da tonelada de CO<sub>2</sub>-eq, estimado em US\$80 a partir de 2030, a fim de tornar o mercado de carbono uma ferramenta adequada para reduzir os efeitos das mudanças climáticas.

Considerando que este valor de crédito seja pago somente no 18º ano, é necessário trazê-lo a valor presente. Logo, a tonelada de CO<sub>2</sub>-eq passaria a valer US\$ 14,14, em valores presentes.

Com isso, os serviços ecossistêmicos adicionais passariam a contribuir com US\$ 7.610,15/ha.ano. Portanto, para este cenário, estima-se um total de US\$ 17.691.164,53,00 em benefícios gerados pelos serviços adicionais.

A comercialização dos créditos gerados pelo reflorestamento geraria uma receita de US\$ \$8.246.485,45, considerando o valor de US\$ 14,14/tCO<sub>2</sub>-eq. em valor presente. Este receita cobria 31% dos custos de implantação para recuperar 60% das APPs urbanas degradadas.

Somando-se o valor arrecadado pela venda dos créditos aos benefícios obtidos pelos serviços ecossistêmicos adicionais, estima-se que seriam recuperados US\$ 25.937.649,99, restando somente US\$ 941.963,10 para recuperar o valor referente ao custo total de implantação do projeto.

Novamente, para analisar a capacidade do município de Campinas em arcar com os custos do reflorestamento de 60% das APPs urbanas degradadas, utilizou-se o valor apresentado pela SVDS em 2015.

Conforme mencionado no Cenário 1, do montante de compromissos ambientais firmados em 2015, estima-se que somente R\$ 6.484.637,81 foram destinados exclusivamente à prática de reflorestamento, representando cerca de 24% do montante firmado.

A partir do total firmado em 2015, e considerando o custo de R\$ 33,07/muda, é possível plantar somente 826.338 mudas, o que representa somente 30% do total de mudas que deveriam ser plantadas neste cenário.

Considerando que o município mantenha um plantio anual de 70.000 mudas por ano, seriam necessários 39,48 anos para que 60% das APPs urbanas de Campinas estivessem completamente cobertas com mudas.

#### **5.4 Cenário 3 – 100% de potencial de reflorestamento de APPs**

Considerando que o total de APPs urbanas que apresentam algum nível de degradação é de 2.763 hectares, seriam necessárias 4.605.921 mudas (1.667 mudas/ha). Considerando o valor de implantação de R\$ 33,07/muda, o custo total para recuperação desta área seria de R\$ 152.317.807,47, ou US\$ \$44.799.355,14. Estima-se que neste cenário de reflorestamento, ao atingir a classe de 20 cm de DAP, seriam fixadas 972.004,414 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq.

A **Tabela 17** apresenta os valores obtidos para cada classe diamétrica, com destaque para os menores valores obtidos em cada classe.

Tabela 17 - Resumo dos valores obtidos para o Cenário 3.

Área reflorestada (ha)									2.763,00	
Total de mudas									4.605.921	
Custo (\$/muda)									R\$ 33,07	US\$ 9,73
Custo de implantação									R\$ 152.317.807,47	US\$ 44.799.355,14
DAP (cm)	Equação	Biomassa acima do solo (t)	Carbono fixado (t)	Fixação de CO <sub>2</sub> -eq. (t)	Tempo de crescimento (ano)	Carbono (R\$/t)	CO <sub>2</sub> -eq. (R\$/t)	CO <sub>2</sub> -eq. (US\$/t)		
5	<b>1</b>	<b>26186,358</b>	<b>13093,179</b>	<b>48051,968</b>	<b>4,545</b>	<b>11633,37</b>	<b>3169,86</b>	<b>932,31</b>		
	2	48856,386	24428,193	89651,468	4,545	6235,33	1699,00	499,71		
	3	33853,169	16926,585	62120,565	4,545	8998,73	2451,97	721,17		
10	1	130756,925	65378,463	239938,957	9,091	2329,79	634,82	186,71		
	<b>2</b>	<b>90687,360</b>	<b>45343,680</b>	<b>166411,306</b>	<b>9,091</b>	<b>3359,18</b>	<b>915,31</b>	<b>269,21</b>		
	3	133910,845	66955,422	245726,400	9,091	2274,91	619,87	182,31		
15	1	334962,678	167481,339	614656,514	13,636	909,46	247,81	72,89		
	<b>2</b>	<b>284260,402</b>	<b>142130,201</b>	<b>521617,838</b>	<b>13,636</b>	<b>1071,68</b>	<b>292,01</b>	<b>85,89</b>		
	3	299340,142	149670,071	549289,160	13,636	1017,69	277,30	81,56		
20	1	652911,456	326455,728	1198092,522	18,182	466,58	127,13	37,39		
	2	629575,511	314787,756	1155271,063	18,182	483,87	131,85	38,78		
	<b>3</b>	<b>529702,678</b>	<b>264851,339</b>	<b>972004,414</b>	<b>18,182</b>	<b>575,11</b>	<b>156,70</b>	<b>46,09</b>		

Fonte: RUSCHEL, 2016.

Para este cenário, considera-se uma valorização de 50% nos benefícios gerados pelos serviços ecossistêmicos adicionais. Esta valorização baseou-se no preço máximo da tonelada de CO<sub>2</sub>-eq, estimado em US\$120, a fim de tornar o mercado de carbono uma ferramenta adequada para reduzir os efeitos das mudanças climáticas.

Considerando que este valor de crédito seja pago somente no 18º ano, é necessário trazê-lo a valor presente. Logo, a tonelada de CO<sub>2</sub>-eq passaria a valer US\$ 21,21. Com isso, os serviços ecossistêmicos adicionais passariam a contribuir com US\$ 11.415,23/ha.ano. Portanto, para este cenário, estima-se um total de US\$ 44.227.930,71 em benefícios gerados pelos serviços adicionais.

A comercialização dos créditos gerados pelo reflorestamento geraria uma receita de US\$ 20.616.213,63, considerando o valor de US\$ 21,21/tCO<sub>2</sub>-eq. em valor presente. Este receita cobria 31% dos custos de implantação para recuperar 60% das APPs urbanas degradadas.

Somando-se o valor arrecadado pela venda dos créditos aos benefícios obtidos pelos serviços ecossistêmicos adicionais, estima-se que seriam recuperados US\$ 64.844.144,34. Portanto, neste cenários o projeto de reflorestamento torna-se viável e também rentável, uma vez que o valor arrecadado é superior ao custo de implantação em US\$ 20.044.789,20.

Considerando que o município de Campinas tem capacidade para plantar somente 826.338 mudas, isso representa somente 17,94% das 4.605.921 mudas que deveriam ser plantadas para cobrir 100% das APPs urbanas degradadas da cidade.

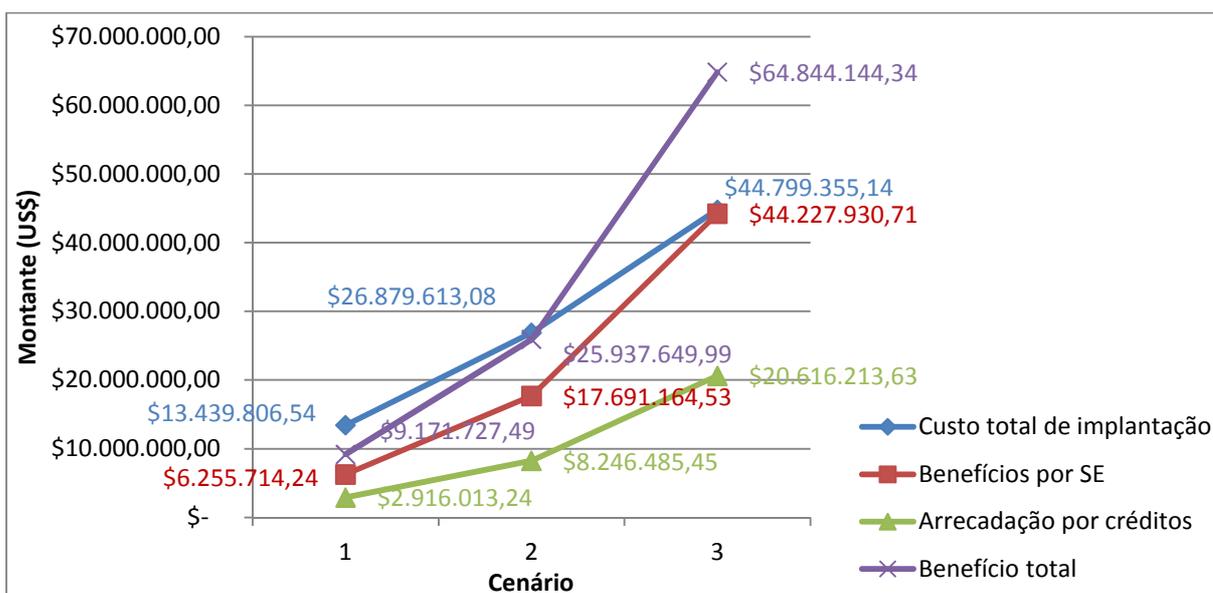
Considerando que o município mantenha um plantio anual de 70.000 mudas por ano, seriam necessários 65,80 anos para que 100% das APPs urbanas de Campinas estivessem completamente cobertas com mudas.

## **5.5 Comparação entre os Cenários**

No Cenário 1, onde seriam recuperados somente 30% das APPs urbanas degradadas, a arrecadação pela venda dos créditos gerados cobriria somente 21,70% dos custos de implantação do projeto, representando um déficit de US\$ 4.268.079,05.

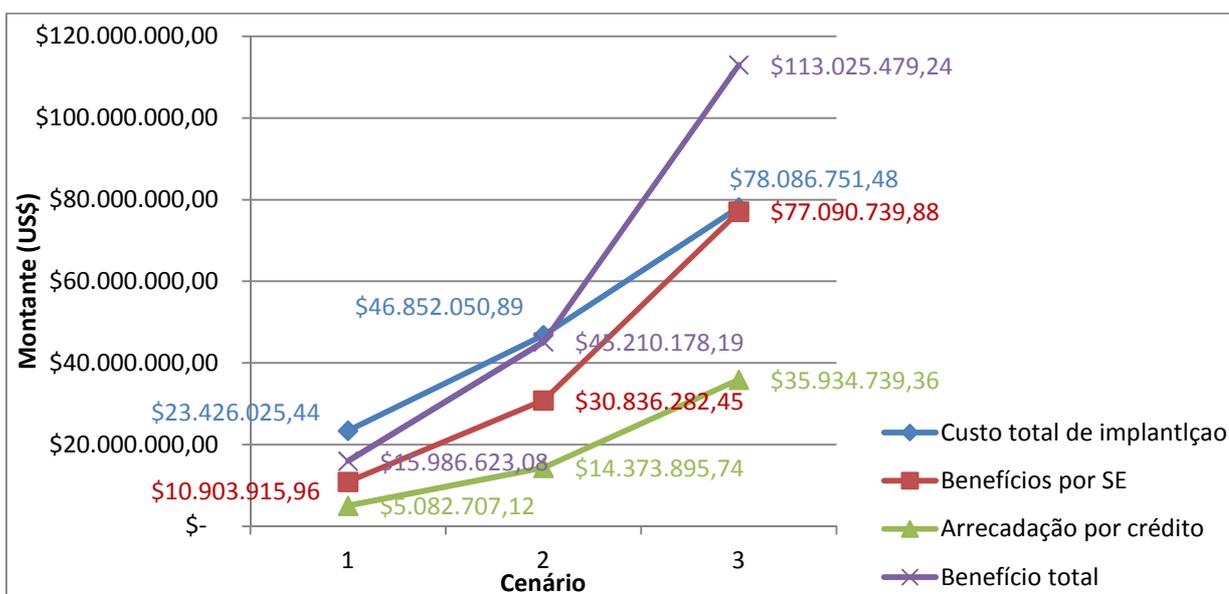
No Cenário 2, com uma valorização de 41,4% no valor do crédito de carbono, a arrecadação cobriria somente 30,68% do custo de implantação. Entretanto, com o aumento da área reflorestada obtém-se um ganho nos benefícios gerados pelos serviços ecossistêmicos adicionais, sendo que conforme a metodologia aplicada, acompanham a valorização do crédito de carbono. Com isso, seriam gerados quase 26 milhões de dólares em benefícios adicionais, que somados à arrecadação proveniente da comercialização dos créditos de carbono, reduziriam o déficit para somente US\$ 941.963,10.

Já no Cenário 3 a situação se reverte, com o projeto tornando-se economicamente rentável. Neste caso, o montante arrecadado com a venda dos créditos de carbono representaria quase 50% dos custos de implantação; ao passo que os benefícios adicionais cobririam o restante dos custos e gerariam um superávit de mais de vinte milhões de dólares. Um resumo dos valores obtidos para cada cenário é apresentado na **Figura 18 e Tabela 18**.

**Figura 18** - Comparação entre os montantes de cada cenário em APPs urbanas.

Fonte: RUSCHEL, 2016.

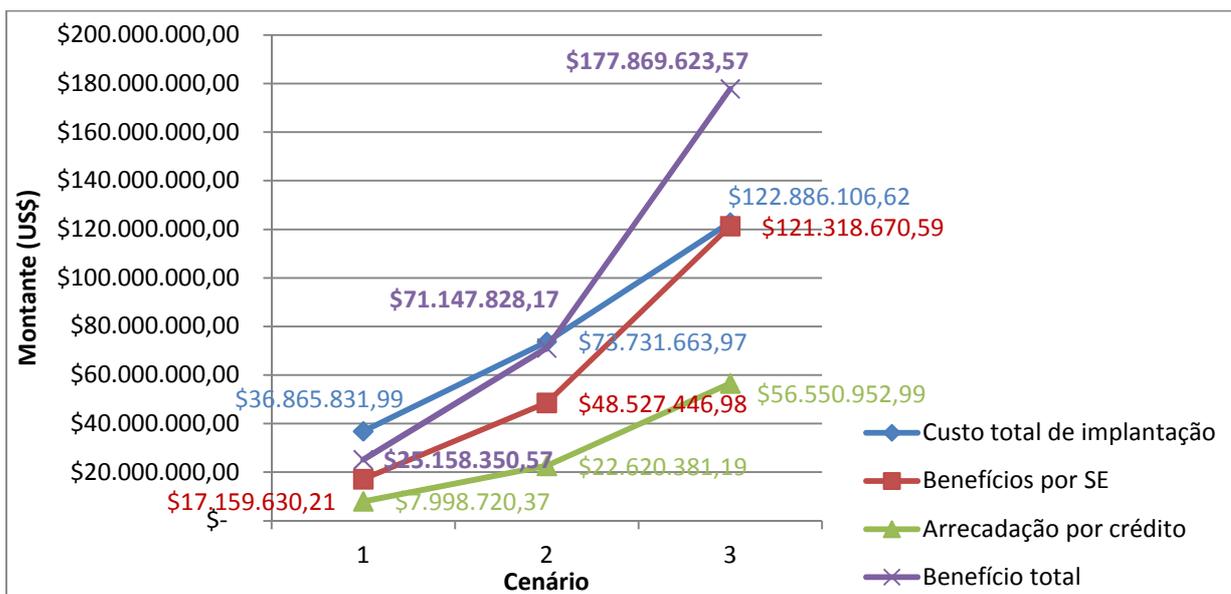
Considerando a aplicação da mesma metodologia para as APPs rurais degradadas, os valores obtidos são apresentados na **Tabela 19**. A diferença entre os benefícios totais e o custo de implantação seguiu a mesma tendência dos resultados obtidos para as APPs urbanas, conforme ilustrado na **Figura 19**.

**Figura 19** - Comparação entre os montantes de cada cenário em APPs rurais.

Fonte: RUSCHEL, 2016.

Na **Figura 20** e **Tabela 20**, são apresentados os valores obtidos na análise de todas as APPs degradadas, considerando áreas urbanas e rurais.

**Figura 20** - Comparação entre os montantes de cada cenário em APPs totais.



Fonte: RUSCHEL, 2016.

**Tabela 18 - Valores obtidos em cada cenário para as APPs urbanas.**

Cenário	Potencial de reflorestamento	Total de área revegetada (ha)	Total de mudas	Tempo de implantação	Custo de implantação (US\$)	Toneladas de CO2-eq fixadas	Benefícios por SE adicionais (US\$)	Arrecadação por venda de crédito (US\$)	% do custo	Benefício total SE + Crédito (US\$)	Diferença entre benefício total e custo de implantação(US\$)
1	30%	828,90	1.381.776	19,74	13.439.806,54	291601,324	6.255.714,24	2.916.013,24	21,70%	9.171.727,49	-4.268.079,05
2	60%	1.657,80	2.763.553	39,48	26.879.613,08	583202,649	17.691.164,53	8.246.485,45	30,68%	25.937.649,99	-941.963,10
3	100%	2.763,00	4.605.921	65,80	44.799.355,14	972004,414	44.227.930,71	20.616.213,63	46,02%	64.844.144,34	20.044.789,20

Fonte: RUSCHEL, 2016.

**Tabela 19 - Valores obtidos em cada cenário para as APPs rurais.**

Cenário	Potencial de reflorestamento	Total de área revegetada (ha)	Total de mudas	Tempo de implantação	Custo de implantação (US\$)	Toneladas de CO2-eq fixadas	Benefícios por SE adicionais (US\$)	Arrecadação por venda de crédito (US\$)	% do custo	Benefício total SE + Crédito (US\$)	Diferença entre benefício total e custo de implantação(US\$)
1	30%	1.444,80	2.408.482	34,41	23.426.025,44	508270,712	10.903.915,96	5.082.707,12	21,70%	15.986.623,08	-7.439.402,36
2	60%	2.889,60	4.816.963	68,81	46.852.050,89	1016541,425	30.836.282,45	14.373.895,74	30,68%	45.210.178,19	-1.641.872,70
3	100%	4.816,00	8.028.272	114,69	78.086.751,48	1694235,708	77.090.739,88	35.934.739,36	46,02%	113.025.479,24	34.938.727,75

Fonte: RUSCHEL, 2016.

**Tabela 20 - Valores obtidos para o total de APPs degradadas do município de Campinas.**

Cenário	Potencial de reflorestamento	Total de área revegetada (ha)	Total de mudas	Tempo de implantação	Custo de implantação (US\$)	Toneladas de CO2-eq fixadas	Benefícios por SE adicionais (US\$)	Arrecadação por venda de crédito (US\$)	% do custo	Benefício total SE + Crédito (US\$)	Diferença entre benefício total e custo de implantação(US\$)
1	30%	2.273,70	3.790.258	54,15	36.865.831,99	799872,037	17.159.630,21	7.998.720,37	21,70%	25.158.350,57	-11.707.481,41
2	60%	4.547,40	7.580.516	108,29	73.731.663,97	1599744,073	48.527.446,98	22.620.381,19	30,68%	71.147.828,17	-2.583.835,80
3	100%	7.579,00	12.634.193	180,49	122.886.106,62	2666240,122	121.318.670,59	56.550.952,99	46,02%	177.869.623,57	54.983.516,95

Fonte: RUSCHEL, 2016.

## 6 Conclusões

É possível observar, pelos dados apresentados, que o município de Campinas tem um índice de área verde por habitante muito superior ao valor mínimo estipulado por diferentes autores, da ordem de 80 m<sup>2</sup>/habitante, sendo o valor de referência de 15 m<sup>2</sup>/ habitante.

Ressalte-se, entretanto, a distribuição assimétrica das áreas verdes no município, sendo que na área de maior densidade populacional há menor quantidade de áreas verdes.

É possível observar, também, que há déficit de áreas verdes nas APP do Município, considerando seu perímetro urbano. Associado a este fato, pode-se destacar a recorrência de alagamentos do sistema viário, o comprometimento da qualidade da água dos córregos urbanos e rebaixamento do nível de lençóis freáticos.

Apesar do IAV públicas ser um indicador importante para o planejamento urbano, ele exclui diversos serviços ecossistêmicos proporcionados pelas áreas verdes privadas, tais como provisão de água e fixação de carbono, cujos benefícios são aproveitados de forma indireta pelo restante da população. Dessa forma, sua utilização como indicador para qualidade ambiental urbana é limitada, no que diz respeito à avaliação dos serviços ecossistêmicos de provisão, regulação e de suporte. Outros índices podem ser estabelecidos, como o Índice de Área Verde Total, que relaciona o total de áreas verdes do município (públicas e privadas), urbanas e/ou rurais, com o total de habitantes.

No que diz respeito à viabilidade de restauração das APPs ao longo dos cursos d'água, observou-se que o município poderia se beneficiar com a criação de um mercado de crédito de carbono, no qual fossem comercializados os créditos gerados pelos reflorestamentos oriundos de compensações ambientais. Foi demonstrado que a comercialização dos créditos cobriria até 46% dos custos de implantação dos projetos.

Através dos fundos levantados pela comercialização dos créditos de carbono, o município poderia incentivar projetos de plantio voluntário de mudas em

condomínios e associações de bairros, através de campanhas publicitárias, oficinas temáticas e distribuição de material educativo. Ainda, novos profissionais poderiam ser contratados para aumentar o poder de fiscalização do município, sendo que este é um dos principais entraves da questão ambiental.

Entretanto, para a criação de um mercado de carbono seria necessário implantar ferramentas que garantissem a veracidade dos dados, assim como o desenvolvimento e fiscalização dos plantios. A rastreabilidade das informações é fundamental para evitar fraudes e identificar, de maneira eficaz, as responsabilidades de cada agente envolvido no projeto. Entretanto, estas medidas, provavelmente, acarretariam no aumento do custo dos projetos.

Além da fixação de carbono, a recuperação das APPs ao longo de cursos d'água proporciona serviços ecossistêmicos adicionais ao município, e que se contemplados na análise custo-benefício dos projetos de reflorestamento representam a maior porção dos benefícios totais. Conforme apresentado, os benefícios gerados pelos serviços ecossistêmicos adicionais tornaram o Cenário 3 rentável em todas as análises (APPs urbanas, APPs rurais e APPs totais). Portanto, entende-se que a inclusão dos benefícios gerados pelos serviços ecossistêmicos adicionais mostrou-se fundamental para tornar a recuperação das APPs economicamente viável.

Conforme demonstrado, mesmo com o aumento da área a ser reflorestada e a elevação do custo de implantação, os benefícios adicionais foram responsáveis por tornar o projeto viável. Entende-se que a fixação de carbono ocorre em um período de tempo determinado, conforme explicado neste trabalho. Já os serviços ecossistêmicos adicionais se mantêm por tempo indeterminado, desde que as florestas permaneçam em pé.

Para o cálculo do custo total de implantação do projeto de reflorestamento foi utilizado o mesmo valor por muda em todos os cenários. Entretanto, sabe-se que no mercado existe a variação do preço conforme o número de mudas a ser plantado. Portanto, o custo total associado à implantação dos projetos poderia ser menor, caso fosse considerado o desconto progressivo.

Considerando que o município de Campinas direcionasse toda a arrecadação dos compromissos ambientais, com base nos valores de 2015, teria a capacidade de arcar com o plantio de somente 826.388 mudas, o que corresponde a 18% do total de mudas necessárias para recuperar todas as APPs urbanas degradadas.

Pode-se atribuir esta dificuldade do município em implantar projetos de reflorestamento, devido ao valor de referência estabelecido em R\$ 96,11. Conforme demonstrado, este valor é quase três vezes superior ao praticado no mercado. Entende-se, portanto, que o valor de referência estabelecido busca arrecadar recursos para implantação de projetos de outra finalidade que não o reflorestamento.

Cabe destacar que todos os projetos de reflorestamento apresentados neste trabalho seriam executados através de firmamentos de compromissos ambientais com agentes privados. A sugestão de comercialização dos créditos gerados por estes projetos seria uma ferramenta de arrecadação para o município, caso este se propusesse a utilizar o montante arrecadado para complementar a restauração das APPs. Entretanto, sabe-se que não é de interesse do município arcar com as despesas de manutenção destes projetos, especialmente em áreas privadas.

Ressalta-se que neste trabalho foram contempladas somente as APPs ao longo dos cursos d'água inseridos no perímetro urbano. Entretanto, as APPs inseridas nas áreas rurais do município também contribuem com serviços ecossistêmicos. Aplicando-se a mesma metodologia dos cenários, estimou-se que estas áreas teriam um potencial de fixação de 1.694.235,708 toneladas de de CO<sub>2</sub>-eq. Além disso, as APPs rurais contribuem principalmente na manutenção da qualidade e quantidade de água disponível nas nascentes dos cursos d'água. Portanto, fica a sugestão de se aprofundar nos estudos de recuperação ecológica das APPs rurais e sua influência sobre o bem-estar da população.

É fundamental destacar a importância de programas governamentais e não-governamentais que financiam projetos de recuperação de APPs. Neste trabalho, não foram consideradas as contribuições destes projetos, pois se avaliou a viabilidade do município de Campinas em atender, de forma independente, à necessidade de restaurar suas APPs urbanas.

## 7 Referências Bibliográficas

ALBERTI, M. Maintaining ecological integrity and sustaining ecosystem function in urban areas. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v.2, n.3, p.178-184, 2010.

ALCAMO, J. et al. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. **Millennium Ecosystem Assessment**. Washington: Island Press, 2003.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO A. R. Serviços Ecológicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. **Texto para Discussão**: Instituto de Economia da Universidade de Campinas, Campinas, n. 155, fev. 2009.

BRASIL. Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001. Estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, Seção 1, 11 jul. 2001

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre o novo Código Florestal Brasileiro. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, Seção 1, p. 1-8, 28 mai 2012.

BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R.; LUGO, A. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, Maryland, v.35, p.881-902. 1989.

BROWN, S. Estimating biomass and biomass changing of tropical forests: a primer. **FAO Forestry Paper**, Rome, n.134, p.1-55, 1997. Disponível em:<  
<http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.HTM>> Acesso em: 12 de set. 2016.

BUARQUE, S. C. Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais. **Texto para discussão**: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, n. 939, fev. 2003.

CAMPINAS. **Plano Diretor do Município**. 2006. Disponível em:  
<<http://www.campinas.sp.gov.br/governo/seplama/plano-diretor-2006/>>. Acessado em: 12 nov. 2016.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 04 de 28 de abril de 2015. Dispõe sobre o valor da muda plantada. **Diário Oficial do Município**, Campinas, p. 26, 29 abr. 2015a.

\_\_\_\_\_. Lei nº 15.046 de 23 de julho de 2015. Institui o Programa de Pagamentos por Serviços Ambientais. **Diário Oficial do Município**, Campinas, p. 1, 24 jul. 2015b.

\_\_\_\_\_. Secretaria Municipal do Verde e Desenvolvimento Sustentável. **Plano Municipal do Verde**: diagnóstico. Campinas: SVDS, 2016.

CAVALHEIRO, F.; DEL PICCHIA, P. C. D. Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1992, Vitória. **Anais I e II**. Vitória: CBAU, p. 29-35, 1992.

CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J. C.; GUZZO, P.; ROCHA, Y.T. Proposição de terminologia para o verde urbano. **Boletim informativo da sociedade brasileira de arborização urbana**, Rio de Janeiro, ano VII, n. 3, p. 7, jul/ago/set 1999.

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; SCHIMEL, J. P. Ancient tree in Amazonia. **Nature**, v. 391, p. 135-136, jan. 1998.

CEPAGRI. **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à Agricultura**. Campinas, SP. Disponível em <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_109.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_109.html)> . Acessado em: 28 dez. 2016.

CISOTTO, M. F. **Natureza e Cidade**: A relação entre os fragmentos florestais e a urbanização em Campinas (SP). 2009. 256 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Análise Ambiental e Dinâmica Territorial, Universidade Estadual de Campinas, 2009.

COMMON, M.; STAGL, S. **Ecological Economics**: An Introduction. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B; LIMBURG, K.; NAEEM, S; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world 's ecosystem services and natural capital. **Nature**, Londres, v. 387, n. 6630, p. 253–260, mai. 1997.

CONSTANZA, R.; DE GROOT, R.; SUTTON, P.; VAN DER PLOEG, S.; ANDERSON, S. J.; KUBISZEWSKI, I.; FARBER, S.; TURNER, R. K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, Amsterdam, v. 26, p. 152-158, 2014.

CONSTANZA, R.; CUMBERLAND, J. H.; DALY, H.; GOODLAND, R.; NORGAARD, R. B.; KUBISZEWSKI, I.; FRANCO, C.; **An introduction to Ecological Economics**. Estados Unidos, Florida: CRC Press, 2015.

DAILY, G. C. (Ed.) **Nature's Services**: Societal Dependence on natural ecosystems. Washington, DC: Island Press, 1997.

DEMUZERE, M.; ORRU, K.; HEIDRICH, O.; OLAZABAL, E.; GENELETTI, D.; ORRU, H.; BHAVE, A. G.; MITTAL, N.; FELIU, E.; FAEHNLE, M. Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 146, p. 107-115, dez. 2014.

FERREIRA, W. C.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Avaliação do crescimento de estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na usina hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 31, n. 1, p. 177-185, 2007.

GOLDSTEIN, A. **Buying In**: Taking stock of the role of offsets in corporate carbon strategies. Washington, DC: Forest Trends, 2016.

GROSTEIN, M. D. Metrópole e Expansão Urbana: a Persistência de Processos Insustentáveis. **São Paulo em Perspectiva**. São Paulo: Fundação SEADE, 2001.

HARVEY, P. H.; PAGEL, M. D. **The comparative method in evolutionary biology**. Oxford: Oxford University Press, 1991.

HOLLING, C. S. Simplifying the complex: The paradigms of ecological function and structure. **European Journal of Operational Research**, v. 30, n. 2, p. 139–146, jun. 1987.

IBRAHIM, B. M.; KALAITZOGLOU, I. A. Why do carbon prices and price volatility change. **Journal of Banking and Finance**, Amsterdam, v. 63, p. 76-94, 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Japão: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2003.

\_\_\_\_\_. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Japão: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.

\_\_\_\_\_. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Suíça, Genebra: IPCC, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo 2010**.

Disponível em:

<<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=350950&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>> Acesso em: 05 abr. 2016.

KENNEDY, C.; PINCETL, S.; BUNJE, P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v. 159, n. 8-9, ago./set. 2011.

KOZLOWSKI, T. T.; Growth characteristics of forest trees. **Journal of Forestry**, v. 61, n. 9, p. 655-662, 1963.

LACERDA, J. S.; COUTO, H. T. Z.; HIROTA, M. M.; PASISHNYK, N.; POLIZEL, J. L. Estimativa da biomassa e carbono com plantios de essências nativas. **METRVM**, Piracicaba, n. 5, 2009.

LAURENTIS, G. L. **Elaboração de cenários como suporte ao planejamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Atibaia**. 2008. 125f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Ambiental, PUC, Campinas, 2008.

LOBODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 125-139, 2005.

MACDICKEN, K. G. **A guide to monitoring carbon Sstorage in forestry and agroforestry projects**. Arlington: Winrock Internatoinal Institute for Agricultural Development, 1997.

MARTINS, O.S. **Determinação do potencial de sequestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos – SP**. 2004. 161f. Tese

(Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais), Universidade Federal de São Carlos, 2004.

MELLO, K.; PETRI, L.; LEITE, E. C.; TOPPA, R. H. Cenários ambientais para ordenamento territorial de áreas de preservação permanente no município de Sorocaba, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 309-317, 2014.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 149-154, 2006.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT – MA. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Island Press, Washington, DC, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Áreas de preservação permanente urbanas**. 2016. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/%C3%A1reas-de-prote%C3%A7%C3%A3o-permanente>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

MOTTA, R. S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais. Rio de Janeiro, 1997**. Disponível em < <http://www.terrabilis.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-para-valoracao-economica-de-recursos-ambientais.pdf>> Acesso em 23 de maio de 2015.

MYERS, J. P. Perspectives on nature's services. In: DAILY, G. C. (Ed.) **Nature's Services: Societal Dependence on natural ecosystems**. Washington, DC: Island Press, 1997.

NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP)**. 2. ed. Curitiba: O Autor, 150 p., 2008.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, 1988.

OLIVEIRA, A. C. C. A.; SOUZA, R. M. Dinâmica da paisagem e proposição de cenários ambientais: um estudo da planície costeira de Estância, Sergipe, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, Lisboa, v. 12, n. 2, p. 175-193, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **World Urbanization Prospects: Highlights**. New York: Department of Economic and Social Affairs, 2014.

\_\_\_\_\_. **Adoption of the Paris Agreement**. Paris, 2015.

\_\_\_\_\_. Urban Data, 2016. Disponível em: < [http://urbandata.unhabitat.org/data-country/?countries=BR&indicators=total\\_length\\_road,rural\\_population,urban\\_population\\_countries,urban\\_slum\\_population\\_countries,population](http://urbandata.unhabitat.org/data-country/?countries=BR&indicators=total_length_road,rural_population,urban_population_countries,urban_slum_population_countries,population)> . Acessado em: 06 nov. 2016.

PEARSON, T.; WALKER, S.; BROWN, S. Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. **Biocarbon Fund, Winrock International**, 2005.

PEREZ-VERDIN, G.; RIVERA-SANJURJO, E.; GALICIA, L.; DIAZ-HERNANDEZ, J. C.; TREJO-HERNANDEZ, V.; LINARES-MARQUEZ, M. A. Economic valuation of ecosystem services in Mexico: Current status and trends. **Ecosystem Services**, Amsterdam, v. 21, p. 6-19, 2016.

PREISKORN, G. M. **Composição florística, estrutura e quantificação do estoque de carbono em florestas restauradas com idades diferentes**. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, 2011.

PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS – PCS. **Indicadores**. Disponível em: <[https://indicadores.cidadessustentaveis.org.br/area-verde-por-habitante?valid\\_from=2012-01-01](https://indicadores.cidadessustentaveis.org.br/area-verde-por-habitante?valid_from=2012-01-01)>. Acessado em: 13 nov. 2016.

REICHERT, J. R. Perspectives on nature's services. In: DAILY, G. C. (Ed.) **Nature's Services: Societal Dependence on natural ecosystems**. Washington, DC: Island Press, 1997.

RODRIGUES, E. VICTOR, R. A. B. M. Os Serviços dos Ecossistemas e sua Importância para o Bem-Estar humano no Cinturão Verde da Cidade de São Paulo. **Serviços ecossistêmicos e bem-estar humano na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo**: Resumo executivo 1. ed. São Paulo: Instituto Florestal, 2014.

RORIZ, G. F. S. **O sequestro florestal de carbono em áreas (re) florestadas como atividade agrária para um novo conceito de produtividade do imóvel**

**agrário**. 2010. 212f. Dissertação (Mestrado em Direito Agrário), Universidade Federal de Goiás, 2010.

SANTIN, D. A. **A vegetação remanescente do município de Campinas (SP):** mapeamento, caracterização fisionômica e florística, visando à conservação. 1999. 502 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Universidade Estadual de Campinas, 1999.

SANTOS, A. S. S. **Diretrizes para implantação de sistemas de infraestrutura verde em meio urbano:** Estudo de caso da cidade de Ribeirão Preto-SP. 2014. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal de São Carlos, 2014.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental:** teoria e prática. Editora Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2004.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Resolução nº 32, de 03 de abril de 2014. Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, SP, 05 abr. 2014, Seção I, p. 36-37.

SEPE, P. M.; PEREIRA, H. M. S. B.; BELLENZANI, M. L. O novo Código Florestal e sua aplicação em áreas urbanas: uma tentativa de superação de conflitos?. In: 3º SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO E ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO. **Eixo temático...**Belém, UFPA, 2014.

SILVA, H. F.; RIBEIRO, S. C.; BOTLEHO, S. A.; FARIA, R. A. V. B.; TEIXEIRA, M. B. R.; MELLO, J. M. Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 943-953, dez. 2015.

SUSTAINABLECARBON. **Entenda o mercado de carbono voluntário e regulado**. 2016. Disponível em: <<http://www.sustainablecarbon.com/blog/mercado-voluntario-x-regula-a-diferenca-de-precos/>>. Acessado em: 06 nov. 2016.

TOLEDO, F. S.; MEZZEI, K.; SANTOS, D. G. Um índice de áreas verdes (IAV) na cidade de Uberlândia/MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, SP, v. 4, n. 3, p. 86-97, 2009.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; NETO, S. N. O.; SANTOS, R. D.; NETO, F. C. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 37, n. 4, p. 647-655, 2013.

THE WORLD BANK: CLIMATE CHANGE - WBG. **State and trends of carbon pricing**. Washington, 2016.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

WANG, Y.; BAKKER, F.; DE GROOT, R.; WÖRTCHE, H. Effect of ecosystem services provided by urban Green infrastructure on indoor environment: A literature review. **Building and Environment**, Amsterdam, v. 77, . p. 88-100, jul. 2014.

YU, C. M. **Sequestro florestal de carbono no Brasil**: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. 2004. 212 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná, 2004.

ZAKERI, A.; DEHGANIAN, F.; BEHNAM, F.; SARKIS, J. Carbon pricing versus emissions trading: A supply chain planning perspective. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 164, p. 197-205, 2015.

### Anexo I – Sugestão de espécies para o reflorestamento de um hectare

Relação de espécies para reflorestamento de um hectare de área. P - Pioneira; NP - Não Pioneira; AUT - Autocórica; ANE - Anemocórica; ZOO - Zoocórica; QA - Quase ameaçada; VU - Vulnerável; EN - Em perigo.

Item	Nome Científico	Nome Comum	Class. Sucessional	Dispersão	Ameaçada	Qtde.
1	<i>Acacia polyphylla</i>	Monjoleiro	P	AUT		20
2	<i>Alchornea glandulosa</i>	Tanheiro / Tapiá / Tapieira	P	ZOO		20
3	<i>Aloysia virgata</i>	Cambará-de-lixá / Lixeira / Lixa	P	ANE		20
4	<i>Annona cacans</i>	Araticum / Araticum-cagão	P	ZOO		20
5	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Peroba-rosa	NP	ANE	QA	22
6	<i>Aspidosperma ramiflorum</i>	Guatambu / Guatambu-amarelo	NP	ANE		20
7	<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Alecrim-do-campo	P	ANE		20
8	<i>Bastardiopsis densiflora</i>	Jangada-brava	P	AUT		20
9	<i>Bauhinia forficata</i>	Pata-de-vaca	P	AUT		20
10	<i>Bauhinia longifolia</i>	Pata-de-vaca-do-campo	P	AUT	QA	20
11	<i>Bougainvillea glabra Choisy</i>	Primavera-arbórea / Primavera	NP	ANE		20
12	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Guanandi / Mangue	NP	ZOO	QA	20
13	<i>Calycorectes acutatus</i>	Araçá-da-serra	NP	ZOO		20
14	<i>Campomanesia guazumifolia</i>	Sete-capotes / Araçá-do-mato	NP	ZOO		20
15	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	Guabiroba	NP	ZOO		20
16	<i>Cariniana estrelensis</i>	Jequitibá-branco	NP	ANE	QA	20
17	<i>Cariniana legalis</i>	Jequitibá-vermelho / Jequitibárosa	NP	ANE	QA	20
18	<i>Casearia gossypiosperma</i>	Espeteiro / Pau-de-espeto	P	ZOO		20
19	<i>Casearia sylvestris Sw.</i>	Guaçatonga / Erva-de-lagarto	P	ZOO		20
20	<i>Cassia ferruginea</i>	Cássia-fistula / Chuva-de-ouro	NP	AUT		20
21	<i>Cassia leptophylla</i>	Falso-barbatimão	NP	AUT		20

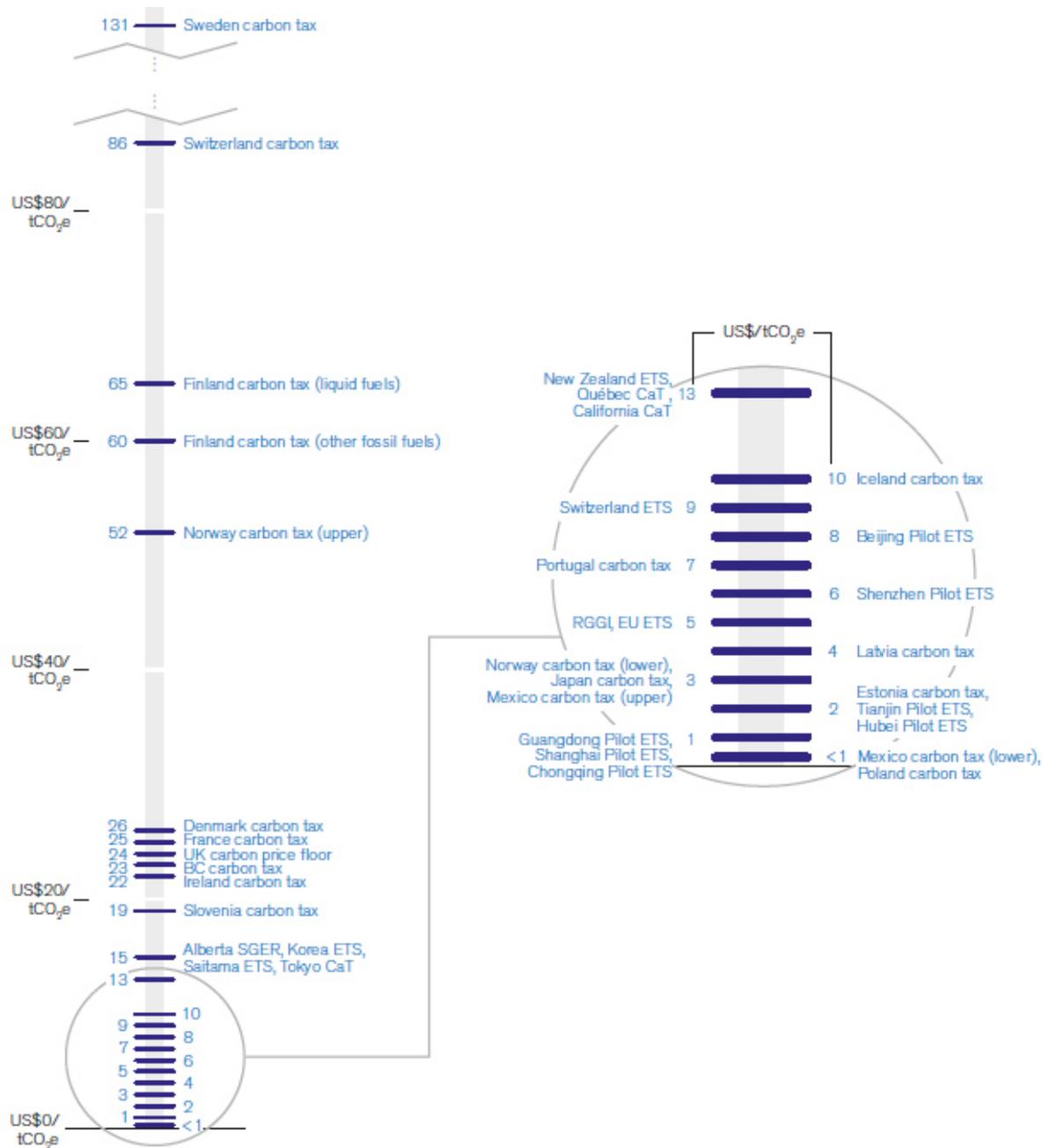
Item	Nome Científico	Nome Comum	Class. Sucessional	Dispersão	Ameaçada	Qtde.
22	<i>Cecropia glaziovii</i>	Embaúva-vermelha	P	ZOO		20
23	<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.	Embaúba / Embaúba-branca	P	ZOO	QA	20
24	<i>Cecropia pachystachya</i>	Embaúba / Embaúba-branca	P	ZOO		20
25	<i>Ceiba speciosa</i>	Paineira-rosa	NP	ANE		20
26	<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg	Jameri / Grão-de-galo /Gumbixava	P	ZOO		20
27	<i>Chrysophyllum marginatum</i>	Aguaiá	NP	ZOO		20
28	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	Pau-viola / Pombeiro	P	ZOO		20
29	<i>Copaifera langsdorffii</i>	Óleo-de-copaíba / Copaíba	NP	ZOO	QA	22
30	<i>Cordia sellowiana</i>	Chá-de-bugre / Louro-mole	P	ZOO		20
31	<i>Cordia superba</i>	Babosa-branca / Baba-de-boi	P	ZOO		20
32	<i>Coussapoa microcarpa</i>	Figueira / Figueira-mata-pau	NP	ZOO		20
33	<i>Croton floribundus</i>	Capixingui	P	AUT		20
34	<i>Croton piptocalyx</i>	Caixeta-mole / Caixeta	P	AUT		20
35	<i>Croton urucurana</i>	Sangra-d'água	P	AUT		20
36	<i>Dendropanax cuneatum</i>	Maria-mole	P	ZOO		20
37	<i>Didymopanax morototonii</i>	Mandioqueiro / Morototó / Mandiocão	P	ZOO		20
38	<i>Duguetia lanceolata</i>	Pindaíba / Pindaíba	NP	ZOO		20
39	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Tamboril / Timburi / Orelha-denegro	P	AUT		20
40	<i>Erythrina crista-galli</i>	Suinã	P	AUT		20
41	<i>Eugenia brasiliensis</i> Lam.	Grumixama	NP	ZOO	VU	20
42	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Cereja-do-rio-grande	NP	ZOO		20
43	<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess	Uvaia	NP	ZOO		20
44	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Pitanga	NP	ZOO		20
45	<i>Ficus insipida</i>	Figueira-do-brejo / Figueira branca	P	ZOO		20
46	<i>Gallesia integrifolia</i>	Pau-d'alho	NP	ANE		20

Item	Nome Científico	Nome Comum	Class. Sucessional	Dispersão	Ameaçada	Qtde.
47	<i>Genipa americana</i> L.	Jenipapo / Genipapo	NP	ZOO		20
48	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Mutambo / Fruta-de-macaco	P	ZOO		20
49	<i>Heliconia popayanensis</i> Kunth	Jangada-brava / Pau-jangada / Algodoeiro	P	ANE		20
50	<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá / Jatobá-miúdo	NP	ZOO	QA	23
51	<i>Inga edulis</i>	Inga-de-metro	NP	ZOO		20
52	<i>Inga marginata</i>	Inga-feijão	NP	ZOO		20
53	<i>Inga sessilis</i>	Inga-ferradura / Inga-amarelo	P	ZOO		20
54	<i>Inga vera</i> Willd	Inga do Brejo	P	ZOO		20
55	<i>Jacaranda micrantha</i>	Caroba-miúda / Caroba	P	ANE		20
56	<i>Lafoensia pacari</i>	Dedaleiro	NP	ANE		20
57	<i>Lithraea molleoides</i>	Aroeira-brava / Aroeira-do cerrado	P	ZOO		20
58	<i>Maytenus robusta</i>	Cuiña / Cafezinho	NP	ZOO		20
59	<i>Micrandra elata</i>	Leiteiro-branco	P	AUT		20
60	<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze.	Maricá / Angico-preto	P	AUT		20
61	<i>Myrcia multiflora</i>	Cambuí	NP	ZOO		20
62	<i>Nectandra barbellata</i>	Canela / Canela-amarela	NP	ZOO	QA	20
63	<i>Nectandra oppositifolia</i>	Canela-amarela	P	ZOO		20
64	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Canafístula / Guarucuia	P	AUT	QA	20
65	<i>Persea pyrifolia</i>	Abacateiro-do-mato	NP	ZOO		20
66	<i>Phytolacca dioica</i> L.	Cebolão	P	AUT		20
67	<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Pau-jacaré	P	AUT		20
68	<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	Candeia	P	ANE		20
69	<i>Psidium rufum</i>	Araçá-roxo / Araçá-cagão	NP	ZOO		20
70	<i>Rapanea ferruginea</i>	Capororoca / Pororoca	P	ZOO		20
71	<i>Sapium glandulatum</i>	Pau-de-leite / Leiteira	P	ZOO		20
72	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeira-mansa / Aroeira pimenteira	P	ZOO		20

Item	Nome Científico	Nome Comum	Class. Sucessional	Dispersão	Ameaçada	Qtde.
73	Schizobolium parahyba	Guapuruvu	P	AUT		20
74	Sebastiania brasiliensis	Branquilha	P	AUT		20
75	Seguiera langsdorffii Moq	Agulheiro / Limoeiro	P	ANE		20
76	Senna multijuga	Pau-cigarra / Aleluieiro / Aleluia	P	ZOO		20
77	Solanum granulosoaleprosum Dunal	Gravitinga / Joá	P	ZOO		20
78	Solanum paniculatum L.	Jurubeba	P	ZOO		20
79	Syagrus romanzoffiana	Jerivá / Palmeira-jerivá	NP	ZOO		20
80	Tapirita guianensis	Peito-de-pomba	NP	ZOO		20
81	Tibouchina stenocarpa	Manacá	P	ANE		20
82	Trema micrantha (L.) Blume	Pau-pólvora / Candiúba	P	ZOO		20
83	Vernonia discolor	Vassourão-preto	P	ANE		20
<b>TOTAL</b>						<b>1667</b>

Fonte: RUSCHEL, 2016.

## Anexo II – Preço do carbono em diferentes modalidades de precificação de acordo com o Banco Mundial.



Fonte: WBG, 2016.

### Anexo III – Planilha de cálculo do valor presente para serviços ecossistêmicos adicionais

	VP (US\$)	951,35	880,00	800,00	727,27	661,16	601,05	546,41	496,74	451,58	410,53	373,21	339,28	308,43
<b>1</b>	VF (US\$)	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00
<b>hectare</b>	n (ano)	18,18	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00	25,00	26,00	27,00	28,00	29,00	30,00
	i	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	VP (US\$)	951,35	880,00	800,00	727,27	661,16	601,05	546,41	496,74	451,58	410,53	373,21	339,28	308,43
<b>C1</b>	VF (US\$)	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00	5382,00
	n (ano)	18,18	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00	25,00	26,00	27,00	28,00	29,00	30,00
	i	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	VP (US\$)	1345,21	1244,32	1131,20	1028,36	934,88	849,89	772,63	702,39	638,53	580,48	527,71	479,74	436,13
<b>C2</b>	VF (US\$)	7610,15	7610,15	7610,15	7610,15	7610,15	7610,15	7610,15	7610,15	7610,15	7610,15	7610,15	7610,15	7610,15
	n (ano)	18,18	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00	25,00	26,00	27,00	28,00	29,00	30,00
	i	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	VP (US\$)	2017,82	1866,48	1696,80	1542,55	1402,32	1274,83	1158,94	1053,58	957,80	870,73	791,57	719,61	654,19
<b>C3</b>	VF (US\$)	11415,23	11415,23	11415,23	11415,23	11415,23	11415,23	11415,23	11415,23	11415,23	11415,23	11415,23	11415,23	11415,23
	n (ano)	18,18	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00	25,00	26,00	27,00	28,00	29,00	30,00
	i	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

US\$

7.547,01

US\$

6.255.714,24

US\$

17.691.164,53

US\$

26.536.758,42