

Fluxo de matéria e ciclagem de nutrientes em Floresta Tropical para estratégias de conservação e manejo sustentável

Cleber Vinicius Akita Vitorio

IBEMAR - Instituto Brasileiro de Engenharia, Meio Ambiente e Recursos Naturais

✉ cleberakita88@gmail.com

Alexandre Rodrigues de Moraes

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

✉ moraisprojetos@gmail.com

Josimar Ribeiro de Almeida

Aposentado UFRJ

✉ almeida@poli.ufrj.br

Patrícia dos Santos Matta

Universidade do Estado do Rio de Janeiro –ZO

✉ patricia.matta@uerj.br

Raphael do Couto Pereira

Troy University (EUA)

✉ rcoutopereira1@gmail.com

Resumo:

As diferenças nas taxas de transferência dos ecossistemas implicam em importantes variações no funcionamento e na estrutura desses ambientes. Ecossistemas com baixas taxas de transferência apresentam gargalos no fluxo de matéria, resultando no acúmulo de recursos nos compartimentos imediatamente precedentes. Esses padrões influenciam a ciclagem de nutrientes, a produtividade e a dinâmica ecológica das comunidades. Neste estudo, analisamos o fluxo e as trocas de matéria entre os compartimentos de uma Floresta Tropical de Encosta Úmida localizada na bacia hidrográfica de Dois Rios (Ilha Grande-RJ). Foram avaliadas as taxas de transferência de matéria orgânica e nutrientes entre a vegetação, o solo e a serapilheira, considerando fatores ambientais como precipitação e temperatura. Os resultados indicaram que o acúmulo de matéria orgânica em determinados compartimentos está associado a variações sazonais e às características físicoquímicas do solo, sugerindo que processos como decomposição e lixiviação desempenham papéis fundamentais na regulação desses fluxos. Além disso, a interação entre vegetação e solo revelou padrões distintos de absorção e redistribuição de nutrientes, evidenciando a complexidade dos processos de ciclagem biogeoquímica na floresta. Compreender essas dinâmicas é essencial para prever impactos ambientais decorrentes de mudanças climáticas e atividades antrópicas, contribuindo para estratégias de conservação e manejo sustentável.

Palavras-chave: Fluxo de matéria, ciclagem de nutrientes, Floresta Tropical, ecossistemas, Ilha Grande.

Material flow and nutrient cycling in tropical forests for conservation strategies and sustainable management

Abstract:

Differences in ecosystem transfer rates lead to significant variations in the functioning and structure

of these environments. Ecosystems with low transfer rates experience bottlenecks in the flow of matter, resulting in the accumulation of resources in the immediately preceding compartments. These patterns influence nutrient cycling, productivity, and the ecological dynamics of communities. In this study, we analyzed the flow and exchange of matter between compartments in a Tropical Montane Rainforest located in the Dois Rios watershed (Ilha Grande-RJ). Transfer rates of organic matter and nutrients between vegetation, soil, and litter were evaluated, considering environmental factors such as precipitation and temperature. The results indicated that the accumulation of organic matter in certain compartments is associated with seasonal variations and the physicochemical characteristics of the soil, suggesting that processes such as decomposition and leaching play fundamental roles in regulating these flows. Furthermore, the interaction between vegetation and soil revealed distinct patterns of nutrient absorption and redistribution, highlighting the complexity of biogeochemical cycling processes in the forest. Understanding these dynamics is essential for predicting environmental impacts resulting from climate change and human activities, contributing to conservation strategies and sustainable management.

Keywords: Matter flow, nutrient cycling, Tropical Forest, ecosystems, Ilha Grande.

Flujo de materia y ciclo de nutrientes en el bosque tropical para estrategias de conservación y manejo sostenible

Resumen:

Las diferencias en las tasas de transferencia de los ecosistemas implican importantes variaciones en el funcionamiento y la estructura de estos ambientes. Los ecosistemas con bajas tasas de transferencia presentan cuellos de botella en el flujo de materia, lo que resulta en la acumulación de recursos en los compartimentos inmediatamente precedentes. Estos patrones influyen en el ciclo de nutrientes, la productividad y la dinámica ecológica de las comunidades. En este estudio, analizamos el flujo y el intercambio de materia entre los compartimentos de un Bosque Tropical de Ladera Húmeda ubicado en la cuenca hidrográfica de Dois Rios (Ilha Grande-RJ). Se evaluaron las tasas de transferencia de materia orgánica y nutrientes entre la vegetación, el suelo y la hojarasca, considerando factores ambientales como la precipitación y la temperatura. Los resultados indicaron que la acumulación de materia orgánica en determinados compartimentos está asociada con variaciones estacionales y con las características fisicoquímicas del suelo, lo que sugiere que procesos como la descomposición y la lixiviación desempeñan un papel fundamental en la regulación de estos flujos. Además, la interacción entre la vegetación y el suelo reveló patrones distintos de absorción y redistribución de nutrientes, evidenciando la complejidad de los procesos de ciclo biogeoquímico en el bosque. Comprender estas dinámicas es esencial para prever los impactos ambientales derivados del cambio climático y las actividades antrópicas, contribuyendo así a estrategias de conservación y manejo sostenible.

Palabras clave: Flujo de materia, ciclo de nutrientes, Bosque Tropical, ecosistemas, Ilha Grande.

INTRODUÇÃO

O entendimento da dinâmica dos ecossistemas requer um esforço de mapeamento das chamadas funções ecossistêmicas. Tais funções podem ser definidas como as constantes interações existentes entre os elementos estruturais de um ecossistema, incluindo transferência de energia, ciclagem de nutrientes, regulação de gás, regulação climática e do ciclo da água (SILVA, 2023).

Apesar de não se compreender totalmente o controle da produtividade na maioria dos

ecossistemas, os dados existentes possibilitam comparações entre suas funções. As correlações simples entre os recursos, as condições físicas e a produção mostram que a temperatura, a precipitação e outros fatores externos regulam a produtividade. O Relatório das Nações Unidas de 2014 (UN – Inclusive Wealth Report 2014) define riqueza inclusiva como o valor social dos ativos de capital de uma sociedade: capital produzido, capital humano e capital natural (recursos do solo, ecossistemas, atmosfera). As interações entre os elementos de um ecossistema (funções ecossistêmicas) podem ser exemplificadas pela transferência de energia, a ciclagem de nutrientes, a regulação de gases, a regulação climática e do ciclo da água (FERREIRA, 2015).

As funções ecossistêmicas geram serviços ecossistêmicos quando os processos naturais subjacentes a suas interações desencadeiam uma série de benefícios direta ou indiretamente apropriáveis pelo ser humano. Um único serviço ecossistêmico pode ser o produto de duas ou mais funções, ou uma única função pode gerar mais do que um serviço ecossistêmico. Pode-se modelar o funcionamento dos ecossistemas por meio do conhecimento dos processos que são críticos para seus próprios controles, bem como pela validação de cada equação da modelagem por observação de campo e experimentação (SOUZA, 2024).

De modo geral, uma função ecossistêmica gera um determinado serviço ecossistêmico quando os processos naturais subjacentes desencadeiam uma série de benefícios, direta ou indiretamente, apropriáveis pelo ser humano, incorporando a noção de utilidade antropocêntrica (COSTA, 2020).

A compreensão do funcionamento dos ecossistemas requer o conhecimento de como as funções de força externa (external control feedbacks) estão integradas. Tais forças externas incluem as entradas de matéria de fora do sistema e as condições físicas do ambiente que influenciam sua estrutura e funcionamento. Os fatores abrangem iluminação, temperatura, intemperismo e entradas por precipitação, além de outros elementos relacionados. Diferenças significativas no funcionamento e na estrutura dos ecossistemas provavelmente derivam das variações nas taxas de transferência (MARTINS, 2024).

Dentre muitos serviços ofertados, cita-se a provisão de nutrientes, a regulação climática, a formação do solo, fluxos de materiais, energia e informações derivados dos ecossistemas naturais que, combinados com os demais capitais (humano, manufaturado e social), produzem o bem-estar humano. As funções e os serviços ecossistêmicos nem sempre apresentam

uma relação biunívoca. Um único serviço ecossistêmico pode ser o produto de duas ou mais funções, ou uma única função pode gerar mais que um serviço ecossistêmico (ALMEIDA, 2014).

Taxas de transferência baixas impõem gargalos no fluxo de matéria através do ecossistema, resultando no acúmulo de matéria no compartimento imediatamente precedente. Portanto, a causa subjacente da variação no fluxo dentro de um sistema deve estar evidente nas trocas de matéria entre os compartimentos do sistema (OLIVEIRA, 2022).

Neste trabalho, estudou-se o fluxo e as trocas de matéria entre os compartimentos de uma Floresta Tropical de Encosta Úmida situada na bacia hidrográfica de Dois Rios (Ilha Grande-RJ).

MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliação da amostragem, Husch e colaboradores [4] mencionam que, dentro dos processos aleatórios, o processo de amostragem em dois estágios é um processo aleatório restrito, no qual o segundo estágio da amostragem fica condicionado ao primeiro estágio. Sua principal vantagem é a redução dos custos, resultante da concentração da subamostragem dentro das unidades primárias. Neste processo, as unidades primárias e secundárias da amostragem são previamente definidas em termos de tamanho. Higuchi e colaboradores [5] testaram vários tamanhos de parcelas amostrais e concluíram que as parcelas retangulares apresentam melhores resultados do que as quadradas, sendo possível utilizar, de maneira geral, parcelas de até 40 m de largura por 150 m de comprimento. Para Lamprecht [6], o tamanho da amostra para estudos estruturais não deve ser inferior a 1 (um) hectare, podendo variar em formato. Entretanto, recomenda-se que sejam utilizadas amostras de 20 m por 500 m como padrão. Unidades amostrais menores não terão a mesma eficácia em florestas tropicais.

A população, objetivo deste estudo, consiste na cobertura vegetal formada por indivíduos com altura total (h) maior ou igual a 10 cm, o que implica em uma ampla distribuição. A amostragem foi dividida em três níveis de abordagem, de acordo com o tamanho dos indivíduos, da seguinte forma:

- Nível I – Inclui indivíduos com altura total maior ou igual a 10 cm e DAP (diâmetro à altura do peito) menor que 5 cm.
- Nível II – Abrange indivíduos com DAP maior ou igual a 5 cm e menor que 20 cm.
- Nível III – Considera indivíduos com DAP maior ou igual a 20 cm.

Para o nível I, foram utilizadas faixas de 2 m de largura por 100 m de comprimento, que representam as unidades primárias, divididas em parcelas de 2 m por 10 m (unidades secundárias), e posteriormente subdivididas em segmentos de 2 m de lado. No nível II, as unidades amostrais consistiram em faixas de 10 m de largura por 100 m de comprimento (unidades secundárias), situadas na metade das unidades de 20 m por 500 m do nível III, sendo divididas em parcelas quadradas de 10 m de lado. A forma e o tamanho das unidades amostrais do nível III foram previamente estabelecidos, baseando-se nos padrões propostos por Lamprecht [6] e Finol [7]. Dessa forma, foram utilizadas faixas de 1 hectare, com 20 m de largura por 500 m de comprimento, subdivididas em parcelas de 20 m por 100 m, as quais foram segmentadas em subparcelas de 10 m por 20 m.

O sistema de amostragem adotado na coleta de dados foi misto, combinando método sistemático e aleatório. As unidades amostrais do nível III foram distribuídas sistematicamente ao longo dos eixos Norte-Sul e Leste-Oeste. As unidades secundárias do nível II foram sorteadas aleatoriamente dentro das unidades do nível III, caracterizando, assim, um processo de amostragem em dois estágios, conforme descrito por Husch e colaboradores [4]. A amostragem preliminar incluiu a medição de 8 unidades do nível III, 24 unidades secundárias do nível II e 120 unidades secundárias do nível I. A partir dos dados coletados nessa fase preliminar, foi calculada a intensidade ideal de amostragem para uma abordagem quantitativa da população. A intensidade ideal para análise qualitativa, ou seja, para determinar a composição florística do povoamento, foi obtida por meio da curva espécie-área de Oosting [8].

Na modelagem proposta, a floresta foi sistematizada nos seguintes compartimentos (Quadro 1): folhas (C_1), caules (C_2), serapilheira (C_3), solo (C_4), raízes (C_5), frutos e flores (C_6),

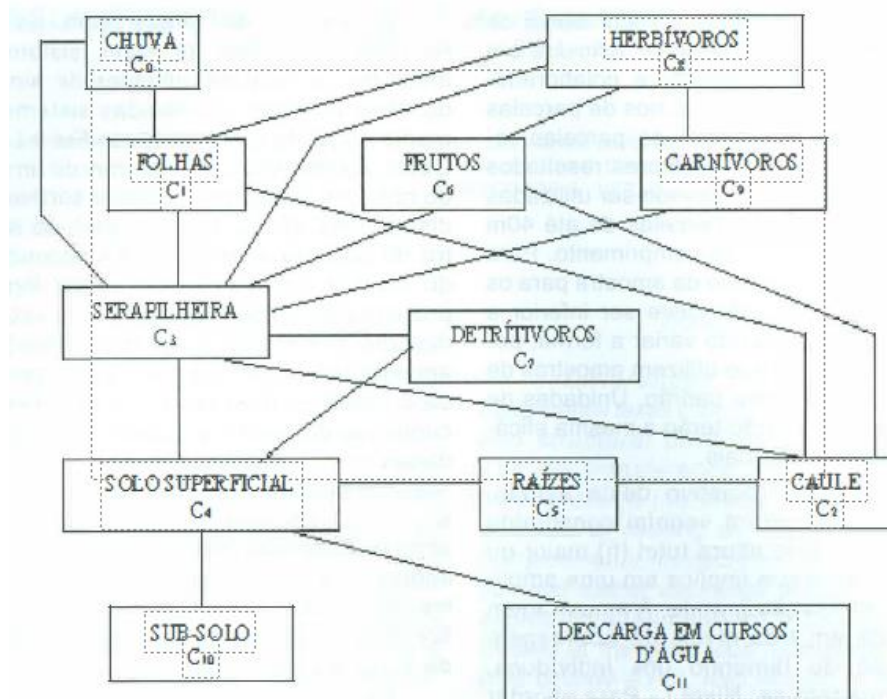
detritívoros (C_7), herbívoros (C_8) e carnívoros (C_9). Compartimentos externos ao sistema delimitado incluem a atmosfera (C_0), o subsolo (C_{10}) e sistemas adjacentes (C_{11}). Os fluxos entre compartimentos foram designados por A_{ij} (Quadro 2), onde os índices indicam o doador (i) e o receptor (j), respectivamente.

Adotou-se como hipótese que o fluxo de massa na floresta da bacia hidrográfica de Dois Rios estava em estado de equilíbrio estável. Assim, a hipótese admite que o modelo pode ser descrito por:

$$dC_i/dt = \sum_{j=1}^n (\lambda_{ij} - \lambda_{ji}) = 0$$

"Onde, C = concentração e t = tempo. (A notação e a descrição dos coeficientes de transferência são dadas em kg/ha.ano)."

Quadro 1 - Fluxograma do modelo (compartimentos e vetores) de dinâmica de massa na floresta de encosta úmida na Ilha Grande-RJ



Fonte: Autoria própria.

No modelo proposto o vetor, $\lambda_{0,1}$ representa a precipitação pluviométrica total que atinge o dossel da sinússia superior. Convertida em kg/ha.ano, de modo que a entrada anual

da chuva está representada em unidades de $\times 10^6$; então $\lambda_{0,1} = \times 10^6$ kg/ha.ano.ppm de chuva.

O vetor $\lambda_{q1,3}$ representa o arrastamento para a serapilheira onde $\lambda_{q1,3} = \times 10^6$ kg/ha.ano. ppm no arrastamento. O vetor $\lambda_{1,3}$ é a contribuição das folhas para a serapilheira, i. e., queda anual de folhas para a serapilheira de modo que $\lambda_{1,3} = \frac{z}{x} \text{kg/ha.ano.ppm}$ nas folhas da sinúsia superior. O vetor $\lambda_{1,8}$ representa o consumo de folhas por herbivoria. A velocidade estimada de consumo das folhas na sinúsia superior é dada por $\lambda_{1,8} = \text{kg/ha.ano.ppm}$ nas folhas (sinúsia superior). O movimento para caules e folhas é dada por $A_{2,1}$ que é igual a saída das folhas menos a entrada da atmosfera OU $\lambda_{2,1} = (\lambda_{1,3} + \lambda_{1,8} + \lambda_{0,1,3}) - \lambda_{0,1}$. O vetor $\lambda_{2,3}$ representa a contribuição dos ramos para a serapilheira, i. e., a queda. Anual de ramos vezes a concentração nos mesmos ou $\lambda_{2,3} = \text{kg/ha.ano.ppm}$ nos ramos. O movimento de massa dos caules para frutos e flares ($\lambda_{2,3}$) foi determinado por $\lambda_{2,3} = \text{kg/ha.ano. ppm}$. O vetor $\lambda_{3,4}$ e a velocidade de infiltração da água através da serapilheira para o solo mineral. Admitindo-se 100 % do arrastamento ($\lambda_{0,1,3}$) entrará no solo, então $\lambda_{3,4} = \lambda_{0,1,3}$ (ou seja $\times 10^6$ kg/ha.ano.ppm no arrastamento). O vetor $\lambda_{3,7}$ e o consumo de serapilheira pelos detritívoros.

Admitindo que todas contribuições para a serapilheira, exceto o arrastamento, sejam consumidas por detritivoria, tem-se $\lambda_{3,7}; \lambda_{1,3} + \lambda_{2,3} + \lambda_{8,3} + \lambda_{9,3}$. O vetor $\lambda_{4,5}$ e o movimento de matéria do solo para as raízes, foi considerado igual ao movimento de massa das raízes para as caules portanto igual a $\lambda_{5,2}$. O vetor $\lambda_{4,11}$ e a contribuição de outros sistemas para o solo, e foi considerado igual a descarga do solo superficial, portanto, $\lambda_{4,11} = \text{ppm na água do rio}$. O vetor $\lambda_{5,2}$ representa o movimento de material das raízes para caules; e a saída de massa dos caules ou $\lambda_{5,2} = \lambda_{2,1} + \lambda_{2,3} + \lambda_{2,6}$. O vetor $\lambda_{6,3}$ significa a contribuição das flores e dos frutos para a serapilheira. Representa a diferença entre consumo pelos frugívoros e movimento de fitomassa dos caules para frutos e flares ou $\lambda_{6,3} = \lambda_{2,6} - \lambda_{6,8}$. O vetor $\lambda_{6,3}$ e o consumo de frutos e flores 'por herbívoros. O consumo estimado dos frugívoros e $\lambda_{6,3}$ em kg/ha.ano. ppm nos frutos e flores. O vetor $\lambda_{7,4}$ e a contribuição (transferência de massa) dos detritívoros para o solo. Admitindo-se que a contribuição para detritívoros seja inteiramente transferida para o solo, então $\lambda_{7,4} = \lambda_{3,7}$.

O vetor $\lambda_{8,3}$ e a contribuição dos herbívoros para a serapilheira, é igual a ingestão

por herbívoros menos a saída dos carnívoros, $\lambda_{8,3} = (\lambda_{1,8} + \lambda_{6,8}) - \lambda_{8,9}$. O vetor $\lambda_{8,9}$ representa o consumo de herbívoros por carnívoros. O consumo estimado por parte dos carnívoros e $\lambda_{8,9} = k/\text{ha.ano.ppm}$ nos herbívoros. O vetor $\lambda_{10,4}$ e a entrada de massa no solo superficial a partir do subsolo, e foi considerada como a diferença entre $\lambda_{0,1}$ e $\lambda_{4,11}$.

No programa de coleta, da serapilheira usou-se subparcelas de 1 m² distribuídas aleatoriamente nas unidades primárias e mobilizáveis a cada mês. Toda a vegetação da sinúcia inferior ($h \leq 2$ m) era cortada ao nível do solo na área correspondente a cada subparcela amostrada na serapilheira. As folhas, frutos, flores e caules eram coletados separadamente e todo esse material imediatamente pesado. As amostras da sinúcia superior foram tomadas segundo a distribuição do diâmetro das árvores. Todas as árvores com OAP < 20 cm foram colhidas nas unidades amostrais correspondentes, determinando-se peso dos caules, folhas e frutos.

Mostrou-se também 10% das árvores (com suas trepadeiras e epífitas) dentro das faixas de tamanho com OAP > 20 cm conforme o desenho amostral. O diâmetro e o comprimento do caule principal das árvores foram medidos calculando-se o seu volume por $\{1/3\}(\pi r_1^2 + \pi r_2^2 + \pi r_1 r_2) \times h$, onde h = altura, r_1 = raio da base do tronco e r_2 = raio do topo. Um volume determinado do tronco era pesado e a partir daí extrapolado para o cálculo de peso do volume total. Nas árvores com OAP > 100 cm contou-se os ramos, e 10% deles foram cortados. Retirou-se as folhas, madeira e frutos para pesagem. Para o cálculo da biomassa florestal foi necessário converter o número de caules por classe de diâmetro em biomassa cumulativa da floresta estabeleceu-se uma relação entre o diâmetro e biomassa de folhas ou caule e OAP. O peso total medido no campo, corrigido o teor de umidade, foi dividido pelo número de caules e expresso como peso médio de uma árvore individual cujo diâmetro situava-se no meio da classe correspondente. Com as regressões multiplicou-se a biomassa média pelo número de caules, resultando no peso para cada classe de diâmetro. Cada classe foi somada para dar o peso total de folhas e caules, por lotes amostrais. As raízes selecionadas pelo desenho amostral foram coletadas até uma profundidade de 0,3 m e pesadas. As epífitas foram colhidas separadamente e tratadas como compartimentos verticais. O teor percentual da água em relação ao peso total foi calculado, como a relação do peso do tecido fresco e do peso do material seco a 100° C até tomar-se peso constante. Quanta a amostragem dos compartimentos animais do ecossistema, quatro tipos de informações são necessários para estimar sua biomassa: densidade das popu-

lações, peso dos indivíduos, hábitos alimentares e concentração elementar[9]. Devido a complexidade destas tarefas coletou-se para determinação do peso somente espécimes de grupos tróficos de invertebrados (herbívoros, carnívoros e detritívoros).

A biomassa de invertebrados foi estimada através de redes de varredura (40cm diâmetro) na vegetação da sinuosa parte inferior das parcelas amostrais da floresta. O peso da matéria seca dos invertebrados foi determinado secando as amostras e convertendo-se em densidade e biomassa. Adotou-se 10 passadas de rede por m² de vegetação até 2 metros de altura (sinúcia inferior) e extrapolou-se essa estimativa a coluna inteira de vegetação (h = 40 m). Admitiu-se que o número de invertebrados fosse constante em toda a coluna de vegetação e com essas premissas calculou-se a biomassa média das mesmas com o peso vivo em 100 passadas de rede amostrando 2 metros do andar inferior vezes 20, obtendo-se, portanto, o peso de biomassa em volume de vegetação de 10 m² x 40 m de altura. Esse valor multiplicado por 77 (% de peso da matéria seca) e dividido para 10 deu o peso estacional desta por m² como estimativa da biomassa de invertebrados. A forma de invertebrados foi categorizada em grupos tróficos contendo carnívoros, frugívoros e herbívoros, e admitiu-se que 10% da massa destes últimos era transferida para os carnívoros e que os herbívoros se alimentam de folhas e frutos na proporção da biomassa dos últimos.

Quadro 2 - Síntese dos principais segmentos do modelo de dinâmica de massa na floresta de encosta úmida e suas respectivas formas de medida.

Segmento no modelo		Forma de medida Empírica (ME) / Dedução (MD) / Inferência (MI)	
Folhas	$\lambda_{1,3}$ Serapilheira	ME	Fitomassa (Kg/ha/mês) de folhas na serapilheira, i. e., fitomassa de folhas que contribuem para serapilheira.
Folhas	$\lambda_{1,8}$ Herbivoria	ME	Fitomassa (kg/ha/mês) de folhas consumidas por herbivoria, i.e., fitomassa consumida por herbivoria entre as folhas dos sinusiais (incluindo serapilheira) na <u>coluna amostral</u>
Caulres	$\lambda_{2,3}$ Serapilheira	ME	Fitomassa (kg/ha/mês) de ramos na serapilheira, i. e., fitomassa caulinar na serapilheira
Caulres	$\lambda_{2,8}$ Frutos e flores	ME	Fitomassa (kg/ha/mês) de frutos e flores, i. e., contribuição do caule na formação de massa dessas estruturas. Dados obtidos nas sinusiais da coluna amostral <u>excetuando serapilheira</u> .
Frutos e flores	$\lambda_{3,3}$ Serapilheira	ME	Fitomassa (kg/ha/mês) de frutos e flores na serapilheira, i.e., contribuição de frutos e flores na serapilheira.
Frutos e flores	$\lambda_{3,5}$ Herbívoros	ME	Fitomassa (kg/ha/mês) consumida por herbivoria, i.e., fitomassa de flores e frutos das sinusiais incluindo serapilheira na <u>coluna amostral</u> .
Caulres	$\lambda_{2,1}$ Folhas	MD	Fitomassa (kg/ha/mês) de folhas, i.e., contribuição do caule na formação de massa folial. Medida obtida por $\lambda_{1,2} = C + \lambda_{1,3}$ (fitomassa folial consumida por herbivoria)
Serapilheira	$\lambda_{3,4}$ Solo	MI	Fitomassa (kg/ha/mês) de serapilheira transferida para o solo. Chuva obtida nos coletores de serapilheira ($\lambda_{3,7}$) lixiviando-a para o solo. Considera-se que o material do lixiviado é a transferência mensal (kg/ha/mês).
Serapilheira (decomposição)	$\lambda_{3,7}$ Detritivoria	MD	Biomassa de decompositores (Kg/ha/mês) i.e., todas as contribuições para serapilheira serão decompostas pela detritivoria. Exceto precipitação pluviométrica, $\lambda_{1,3} \cdot \lambda_{3,7} = \lambda_{3,3} + \lambda_{2,3} + \lambda_{3,5} + \lambda_{3,3}$
Solo	$\lambda_{4,5}$ Raízes	MD	Contribuição (Kg/ha/mês) do solo para raízes é igual a contribuição das raízes (fitomassa) para o caule $\lambda_{4,5} = \lambda_{3,2}$ onde, $\lambda_{3,2} = \lambda_{2,1} + \lambda_{2,3} + \lambda_{2,6}$
Solo	$\lambda_{4,11}$ Curso d'água	ME	Contribuição de finos e sólidos (kg/ha/mês) coletados nas águas vazantes antes e após descarga pluviométricas. Finos obtidos por amostragem de sedimentação e <u>sólidos por gradeamento de interceptação no corpo d'água</u>
Sub-Solo	$\lambda_{10,4}$ Solo	MI	Contribuição de massa do sub-solo para solo, foi considerada como diferença entre entrada por $\lambda_{10,1}$ menos saída por $\lambda_{4,11}$. $\lambda_{10,4} = \lambda_{10,1} - \lambda_{4,11}$
Herbivoria	$\lambda_{3,5}$ Serapilheira	MD	Contribuição de biomassa da herbivoria para serapilheira através da fitomassa consumida por herbivoria das folhas ($\lambda_{1,3}$) e frutos ($\lambda_{3,3}$) menos a saída por <u>canivoria</u> . então, $\lambda_{3,5} = (\lambda_{1,3} - \lambda_{3,3}) - \lambda_{3,0}$
Herbivoria	$\lambda_{3,9}$ Carnivoria	MI	Zoomassa (kg/ha/mês) de herbívoros consumidos por carnivoria. Estimada por média de carnivoria em ecossistemas similares (dado bibliográfico)
Carnivoria	$\lambda_{3,3}$ Serapilheira	MI	Zoomassa (Kg/ha/mês) de canivoria para serapilheira. Considera-se que a zoomassa de herbivoria transferida para canivoria é totalmente metabolizada neste intervalo e transferida para serapilheira.
Chuva	$\lambda_{6,1}$ Folhas	ME	Peso (kg/ha/mês) da precipitação pluviométrica obtida nos coletores no DAP dos troncos. Admitindo-se que toda água de escoamento será transferida por osmose
Chuva	$\lambda_{3,7}$ Serapilheira	ME	Peso (Kg/ha/mês) da precipitação pluviométrica obtida nos coletores de serapilheira, como água de gotejamento
Raízes	$\lambda_{3,2}$ Caulres	MD	Fitomassa transferida das raízes para caule. Foi considerada igual ao total de saída do caule, i.e., $\lambda_{3,2} = \lambda_{2,1} + \lambda_{2,3} + \lambda_{2,6}$
Detritivoria	$\lambda_{7,4}$ Solo	MI	Massa de detritivoria transferida para o solo é igual a fitomassa da serapilheira que entra na detritivoria, i.e., $\lambda_{7,4} = \lambda_{3,7}$

Fonte: Autoria própria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As funções ecossistêmicas relacionadas à reprodução vegetal, como a polinização, que resulta das atividades de algumas espécies, tais como insetos, pássaros e morcegos, se traduzem também em serviços ecossistêmicos essenciais para a manutenção da produtividade agrí-

cola (SANTOS, 2021). Funções de habitat são essenciais para a conservação biológica e genética, contribuindo para a preservação de processos evolucionários. Importante destacar as funções de refúgio e berçário, sendo a primeira delas concernente ao fato de que ecossistemas naturais fornecem espaço e abrigo para espécies animais e vegetais, contribuindo para a manutenção da diversidade genética e biológica (OLIVEIRA, 2022).

Uma parte substancial das chuvas do início da estação úmida ficou armazenada no solo. A entrada que foi para a descarga aumentou e foi geralmente menos de 50%. Ao contrário, quando o solo aparente se recarregou, a entrada e a descarga foram quase iguais. No período de 8 meses, a descarga foi 43% da precipitação e nos demais a descarga mostrou-se igual a 44% da precipitação (MARTINS, 2023). A contribuição de outros sistemas para o solo foi considerada igual à descarga do solo superficial. A descarga em 12 meses (usando os mesmos fatores de conversão) foi de $8,61 \cdot 10^6$ kg/ha.ano, então $\lambda 4,11 = 8,6 \cdot 10^6$ ppm.ano na água de rio.

Na floresta da bacia de Dois Rios, a cobertura média por copa é de aproximadamente 80%, e a maior parte das chuvas diárias (70%) e menos de 6,2 mm. Torna-se razoável então admitir que, para o caso geral, uma chuva de cerca de 3,8 mm (ponto médio da classe 1,3 - 6,2 mm) seria necessária para saturar a copa e que 8,8 mm passariam através de copa como arrastamento com pequena interceptação (COSTA, 2024). Usou-se essas premissas e considerou-se a chuva registrada como entrada da floresta, 20% (385,6 mm) da mesma, portanto 1.928 mm seriam interceptadas e evaporadas. A quantidade de água que atravessou o dossel foi de 80% da queda pluvial anual ou $15,54 \cdot 10^6$ kg/ha.ano. A entrada anual foi de $19,28 \cdot 10^6$ kg/ha.ano, então $\lambda 0,1 = 19,28 \cdot 10^6$ kg/ha.ano.

Os serviços ecossistêmicos, segundo a Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, podem ser classificados nas seguintes modalidades: serviços de provisão: os que fornecem bens ou produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, madeira, fibras e extratos, entre outros; serviços de suporte: os que mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, a polinização, a dispersão de sementes, o controle de populações de potenciais pragas e de vetores potenciais de doenças humanas, a proteção contra a radiação solar ultravioleta e a manutenção da biodiversidade e do patrimô-

nio genético; serviços de regulação: os que concorrem para a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, tais como o sequestro de carbono, a purificação do ar, a moderação de eventos climáticos extremos, a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico, a minimização de enchentes e secas e o controle dos processos críticos de erosão e de deslizamento de encostas; serviços culturais: os que constituem benefícios não materiais providos pelos ecossistemas, por meio da recreação, do turismo, da identidade cultural, de experiências espirituais e estéticas e do desenvolvimento intelectual, entre outros (ALMEIDA, 2021).

Quadro 3 - Análise de variância para o nível II de abordagem

Fonte	GL	SQ	MQ	F
Entre UP	7	2569,795	384,732	-
Dentro das UP	16	4216,269	285,467	1,674ns
Total	23	6678,588		
F 7/16 = 2,66				

A análise estatística dos dados do nível III forneceu as estimativas dos parâmetros frequência e área basal.

Quadro 4 – Frequência e área basal

Parâmetro	x	s	sx	CV(%)
Frequência (n° de indivíduos/ha)	189,462	12,953	3,578	6,25
Área basal (m ² /ha)	23,043	1,753	0,095	5,06

Fonte: Autoria própria.

Os intervalos de confiança (IC) para a média de frequência e área basal, também obtidos da análise, são: Frequência (IC) = 176,497 < x < 217,252 = P0,005 e Área basal (IC) 22,347 < x < 26,972 = P0,05.

Quadro 5 - Análise de variância para o nível II de abordagem.

Fonte	GL	SQ	MQ	F
Entre UP	7	2569,795	384,732	-
Dentro das UP	16	4216,269	285,467	1,674 ns
Total	23	6678,588		
F 7/16 = 2,66				

Fonte: Autoria própria.

Da análise dos dados, foram obtidas as seguintes estimativas dos parâmetros: Média(\bar{x}) = 1228,29 indivíduos/ha; Variância entre DF (s^2_e) = 41,153; Variância dentro UP (s^2_d) 255,695 e Erro padrão (s_x) = 3,931. O intervalo de confiança (IC) para a média do número de indivíduos por 1000 m², dessa fração do povoamento com DAP entre 5 cm e 20 cm e IC = $108,951 < \bar{x} < 128,257 = P_{0,05}$. Não existe diferença significativa entre as unidades primárias do nível II de abordagem, sendo maior a variação dentro das unidades primárias, ou seja, entre as unidades secundárias da amostragem, o que recomenda seja utilizado o processo de amostragem inteiramente aleatório para esta fração de florestas. Para as florestas com esta estrutura, os resultados da análise estatística do processo de amostragem em dois estágios demonstram que, para a mesma área (200 ha), o número de 6 unidades primárias de 1 hectare, cada uma com 3 unidades secundárias de 100m são suficientes para avaliar-se quantitativamente o povoamento com DAP maior ou igual a 5cm e menor que 20cm.

O quadro 6 apresenta a análise de variância para os resultados obtidos no nível I de abordagem. A análise foi feita para quatro frações da floresta: população total, população sem cipó, população sem palmeiras e população sem cipó e palmeiras.

Quadro 6 - Análise de variância para o nível I de abordagem

POPULAÇÃO	FONTE	GL	SQ	MQ	F
	Entre	23	3753,576	3817,427	1,951
TOTAL	Dentro	9,7	245825,802	2493,524	
	Total	120	301516,768		
	<hr/>				
SEM CIPÓS	Entre	23	23929,679	1699,874	1,625
	Dentro	9,9	112062,055	1145,834	
	Total	120	154057,796		
<hr/>					
SEM PALMEIRAS	Entre	23	76976,675	3487,424	1,654
	Dentro	9,7	280262,841	2233,892	
	Total	1	305061,769		
<hr/>					
SEM CIPÓS E SEM PALMEIRAS	Entre	23	34171,223	1487,745	1,518
	Dentro	9,7	98507,001	989,464	
	Total	120	18272,202		
<hr/>					
$F_{23,96}^{0,05} \cong F_{24,120}^{0,05} = 1,61$					

Fonte: Autoria própria.

Da análise dos resultados, foram obtidas as estimativas dos parâmetros da população para cada fração da mesma.

Quadro 7 - Parâmetros das Populações Amostradas

POPULAÇÕES	x/20 m ²	s ² e	s ² d	Sx
População total	142,764	176,386	2438,524	4,302
População sem cipós	113,715	103,211	1056,836	2,989
População sem palmeiras	129,718	189,864	2322,902	4,142
População sem cipós e sem palmeiras	90,913	90,689	95,688	2,729

Fonte: Autoria própria.

Os intervalos de confiança (IC) para a média do número de indivíduos por parcela de 20 m², para cada fração da população são os seguintes: População total 13,8746 < IC < 153,602 = P0,05; População sem cipós 98,455 < IC < 111,946 = P0,05; População sem cipós e palmeiras 86,622 < IC < 97,484 = P 0,05. Os resultados apresentados mostram bem a complexidade da estrutura da regeneração natural no seu estágio mais jovem. Conforme se observa, quando se analisa a regeneração como um todo, não existe diferença significativa entre as unidades primárias. Esta diferença é menos significativa quando se analisa a população sem palmeiras e a população sem cipós e palmeiras. Entretanto, quando se analisa a população sem cipós, observa-se uma pequena significância na diferença entre unidades primárias.

Portanto, estatisticamente, a presença de cipós na regeneração natural funciona como um fator de homogeneização da estrutura, contrabalançado pelas palmeiras cuja presença, dá um caráter mais homogêneo para a regeneração. A presença de cipós e palmeiras nos níveis II e III representam valores insignificantes em relação aos demais componentes. Entretanto no nível I devem ser considerados, pois contribuem significativamente na ocupação do estrato arbustivo e herbáceo da floresta. Tal condição é comprovada pela análise do povoamento sem cipós que implica na necessidade de estratificação do mesmo, pela significância do "Teste F" ao nível de 95% de probabilidade. A intensidade ideal de amostragem para abordar quantitativamente a população com altura total maior que 10 cm e DAP menor que 5 cm

e inferior a intensidade de amostragem adotada neste trabalho, sendo 15, 14, 16 e 15 os números de unidades primárias, respectivamente para população total, populações sem cipós, populações sem palmeiras e população sem cipós e palmeiras, necessários para abordar a regeneração natural mais jovem.

Dentro de cada unidade primária, o número de 5 unidades secundárias previamente fixado foi suficiente para essa abordagem. Em geral a renovação é mais rápida nos compartimentos C7 (detritívoros), C8 (herbívoros) e C9 (carnívoros). O período para os compartimentos animais é quase sempre menor que alguns dias (ordem de grandeza).

Quadro 8 - Estimativa do balanço de biomassa de caule (compartimento C2) na Bacia hidrográfica de Dois Rios (IG I RJ). Medidas efetuadas em (kg/ha/mês)

Mês	Estoque no caule (C2)	Saídas			Saída Total $\sum (\lambda_{1,j}) (\lambda_{2,j}) (\lambda_{3,j})$	Entrada total $(\lambda_{5,j})$	Estoque Metabólico	Saldo de biomassa no estoque	Saldo Cumulativo de biomassa no estoque
		Serapilheira $(\lambda_{1,j})$	Folha $(\lambda_{2,j})$	Fruto $(\lambda_{3,j})$					
01	264759,75	128,05	889,07	27,17	1044,29	1075,27	264790,73	+ 30,98	+ 30,98
02	264768,34	131,07	913,57	26,45	1071,09	1077,42	264774,67	+ 6,33	+ 37,31
03	264774,67	129,37	896,71	25,03	1051,11	1046,55	264770,11	- 4,56	+ 32,75
04	264770,11	130,26	902,13	27,39	1059,78	1055,22	264765,55	- 4,56	+ 28,19
05	264765,56	129,76	888,01	30,97	1048,74	993,63	264710,55	- 55,11	- 26,92
06	264610,65	123,38	881,33	26,93	1031,64	1018,12	264597,13	-13,52	- 40,44
07	264597,13	130,22	869,66	23,73	1023,61	1045,53	264619,05	+ 21,92	- 18,52
08	264619,91	132,99	880,83	25,52	1039,34	1110,25	264549,00	- 70,91	- 89,43
09	264690,25	127,53	886,99	24,02	1038,54	1053,78	264635,91	+ 15,24	- 74,19
10	264705,01	121,33	894,11	26,65	1084,43	1084,43	264765,35	+ 60,34	- 13,85
11	264747,36	142,65	829,91	27,34	1014,23	1014,23	264761,69	+ 14,33	+ 0,48
12	264761,14	134,65	893,73	25,81	1071,52	1071,52	264778,47	+ 17,33	+ 17,81

Fonte: Autoria própria.

O balanço de biomassa da herbivoria (Quadro 12) mostra uma variação do estoque metabólico de 129,34 kg/ha/mês até 132,98 kg/ha/mês. A biomassa no estoque variou de superávit (0,94 kg/ha/mês) até déficit (0,94 kg/ha/mês). O resultado do saldo cumulativo de biomassa no estoque foi positivo do mês 1 ao 10 e negativo nos meses 11 e 12. Os resultados indicam acúmulo de biomassa no período do mês 1 até o mês 10 e saldo negativo nos meses 11 e 12. O balanço cumulativo de estoque anual de biomassa foi negativo, com 1,06 kg/ha/mês.

Os invertebrados mais frequentemente coletados pelas redes de varredura na vegetação do andar inferior foram artrópodes das ordens Diptera, Hymenoptera, Araneae e Coleop-

tera. As 100 passadas em cada lote amostral coletaram, em média, 75 indivíduos na estação seca e 120 indivíduos na estação úmida. Isso representa um peso vivo de 0,31 g e 0,43 g, respectivamente. O peso médio dos artrópodes foi de 4,3 mg, variando entre 2,71 mg e 5,38 mg. A coleta representou de 0,47 g/m² a 0,91 g/m² de superfície amostral. A fauna coletada foi dividida em grupos tróficos, contendo 10% de carnívoros e 90% de herbívoros, sendo 2% frugívoros e 88% folívoros. Essa separação foi feita admitindo que 10% da massa de herbívoros é transferida para os carnívoros e que os herbívoros se alimentam de folhas e frutos na proporção da biomassa disponível.

Como a ingestão de alimento é influenciada pelo tipo de estratégia alimentar, é possível estimar velocidades de entrada para cada categoria trófica. A ingestão em cada grupo trófico pode ser calculada multiplicando-se a biomassa estimada das taxas populacionais pela velocidade de alimentação dos mesmos e somando-se a ingestão de todas as taxas dentro do grupo trófico. Os folívoros e detritívoros apresentaram as maiores ingestões, enquanto os frugívoros e carnívoros tiveram as menores. O consumo pelos carnívoros foi cerca de 10 vezes menor que o dos herbívoros. Os folívoros e os frugívoros juntos consumiram cerca de 0,3 g/m²/dia, o que equivale a cerca de 10% da produção anual de folhas e frutos. A velocidade de alimentação estimada para os artrópodes detritívoros, de cerca de 700 kg/ha/ano, não seria suficiente para consumir o excedente da serapilheira. Estima-se, portanto, uma biomassa de população bacteriana da ordem de 1 g/m², ou seja, 10¹² bactérias para consumir 1 m² do estoque da serapilheira (até 5 cm de profundidade) em um ano.

A ingestão por herbívoros e carnívoros foi calculada multiplicando-se a entrada média na biomassa animal por dia, por 365 dias, e depois pela concentração média de folhas e frutos da sinússia superior, resultou numa velocidade média estimada de consumo de 0,26 g/m²/dia para o vetor λ 1,8, com um valor detectado de 953,05 kg/ha/ano. No consumo de frutos por herbívoros, o consumo estimado dos frugívoros foi de 0,029 g/m²/dia, e o vetor λ 6,8 apresentou um valor de 103 kg/ha/ano/ppm nos frutos e flores. O consumo de herbívoros por carnívoros foi estimado em 0,032 g/m²/dia. O vetor λ 8,9 foi 113,04 kg/ha/ano/ppm nos herbívoros. A contribuição dos carnívoros para a serapilheira foi considerada igual a λ 8,9.

O balanço de biomassa do caule (Quadro 8) mostra uma pequena variação do estoque metabólico, de 264.549 kg/ha/mês até 264.790,73 kg/ha/mês. A biomassa no estoque variou

de um superávit máximo de 60,34 kg/ha/mês até um déficit máximo de 70,91 kg/ha/mês.

O resultado do saldo cumulativo foi de 6 meses em superávit e 6 meses em déficit, com um balanço final positivo de 17,81 kg/ha/mês. O balanço de biomassa da serapilheira (Quadro 9) mostra uma variação do estoque metabólico de 2.594,61 kg/ha/mês até 3.040,6 kg/ha/mês. O saldo de biomassa no estoque variou de um superávit máximo de 51,54 kg/ha/mês até um déficit máximo de 25,65 kg/ha/mês. O saldo cumulativo foi positivo, com valor de 106,98 kg/ha/mês.

Quadro 9 - Estimativa do balanço de biomassa da serapilheira (compartimento C3) na Bacia Hidrográfica de Dois Rios (IG/RJ).

Mês	Estoque na Serapilheira (C3)	Saída		Saída Total $\Sigma (A_{ij}) (A_{ij})$	Entrada Total $\Sigma (A_{ij}) (A_{ij}) (A_{ij})$	Estoque Metabólico	Saldo de Biomassa no estoque $C_{12} - C_{11}$	Saldo cumulativo de biomassa no estoque
		Serapilheira (A _{ij})	Herbivoria (A _{ij})					
01	2910,45	16,19	970,85	987,04	1030,95	2954,36	+ 43,91	+ 43,91
02	2989,06	14,94	996,81	1011,75	1063,29	3040,6	+ 51,54	+ 95,45
03	2997,01	15,32	984,4	999,72	975,93	2973,22	- 23,79	+ 71,66
04	2856,74	14,25	984,49	998,74	1000,23	2858,23	+ 1,49	+ 73,15
05	2713,61	13,95	973,47	987,42	967,75	2693,94	- 19,67	+ 53,48
06	2604,89	11,47	961,96	973,43	1019,09	2650,55	+ 45,66	+ 99,14
07	2608,73	7,32	957,17	964,49	950,37	2594,61	- 14,12	+ 85,02
08	2651,12	11,14	963,75	974,89	956,16	2632,39	- 18,73	+ 66,29
09	2702,39	14,21	964,35	978,56	1017,93	2741,76	+ 39,37	+ 105,66
10	2828,07	12,53	966,98	979,51	958,54	2807,10	- 20,97	+ 84,69
11	2879,58	16,26	991,23	1007,49	981,84	2853,93	- 25,65	+ 59,04
12	2901,19	14,12	981,53	995,65	1043,59	2949,13	+ 47,94	+ 106,98

Fonte: Autoria própria.

A estimativa do balanço de biomassa da folhagem (Quadro 10) mostra uma pequena variação no estoque metabólico, desde um superávit de 19,56 kg/ha/mês até um déficit de 6,31 kg/ha/mês. O balanço de biomassa foi negativo apenas no mês 03, atingindo um valor positivo máximo de 255 kg/ha/mês em dezembro. O saldo cumulativo de biomassa no estoque foi positivo durante todo o ano, com um resumo final de 893,73 kg/ha/mês.

Quadro 10 - Estimativa do balanço de biomassa da folhagem (compartimento C1) na Bacia Hidrográfica de Dois Rios (IG/RJ).

Mês	Estoque em Nas flores e Frutos (C1)	Saída		Saída Total $\Sigma (A_{ij}) (A_{ij})$	Entrada Total (A _{ij})	Estoque Metabólico	Saldo de Biomassa no Estoque (C _{1,k}) - (C _{1,k-1})	Saldo cumulativo De biomassa no estoque
		Serapilheira (A _{ij})	Herbivoria (A _{ij})					
01	7300	810,13	78,94	889,07	7300,00	-	-	889,07
02	7293,69	828,19	85,32	907,2	7287,38	- 6,31	- 6,31	913,51
03	7313,25	815,29	81,42	916,27	7332,81	+ 19,56	+ 13,25	896,71
04	7318,83	819,71	82,42	907,71	7324,41	+ 5,58	+ 18,83	902,13
05	7306,84	809,25	78,76	876,02	7294,85	- 11,99	+ 6,84	888,01
06	7304,9	805,36	75,97	879,39	7302,96	- 1,94	+ 4,9	881,33
07	7301,97	797,21	72,45	866,73	7299,04	- 2,93	+ 1,97	869,66
08	7311,52	803,47	77,36	890,38	7321,07	+ 9,55	+ 11,52	880,83
09	7311,96	808,15	78,84	887,43	7312,4	+ 0,44	+ 11,96	886,99
10	7317,45	812,82	81,29	899,6	7322,29	+ 5,49	+ 17,45	894,11
11	7320,69	813,59	79,32	896,15	7323,93	+ 3,24	+ 20,69	892,91
12	7325,5	812,77	80,96	898,54	7330,31	+ 4,81	+ 25,5	893,73

Fonte: Autoria própria.

A estimativa do balanço de biomassa do compartimento C6 (Flores/Frutos) (Quadro 11) mostra um estoque metabólico positivo durante todo o ano, variando de 112,13 kg/ha/mês até 151,41 kg/ha/mês. O saldo de biomassa no estoque variou de um déficit máximo de 3,46 kg/ha/mês até um superávit máximo de 19,6 kg/ha/mês. O saldo cumulativo foi negativo apenas nos três primeiros meses, tornando-se positivo a partir desse período. O saldo final foi de 68,46 kg/ha/mês.

Quadro 11 - Estimativa do balanço de biomassa de frutos/flores (compartimento C4) na Bacia Hidrográfica de Dois Rios (IG/RJ).

Mês	Estoque em Nas flores e Frutos (C6)	Saída		Saída Total $\sum (A_{ij})$ (A _{ij})	Entrada Total (A _{ij})	Estoque Metabólico	Saldo de Biomassa no Estoque (C _{1w}) - (C _{1w})	Saldo cumulativo De biomassa no estoque (BF) + (BF)
		Serapilheira (A _{ij})	Herbivoria (A _{ij})					
01	130,97	14,67	8,58	23,25	23,17	130,89	- 0,08	- 0,08
02	127,51	19,08	9,05	28,13	24,67	124,06	- 3,46	- 3,54
03	124,31	21,85	8,47	30,32	29,14	123,13	- 1,18	- 4,72
04	121,47	15,57	9,53	25,10	38,38	134,75	+ 13,28	+ 8,56
05	118,89	19,35	8,72	28,04	30,68	121,53	+ 2,64	+ 11,2
06	112,17	12,35	7,27	19,80	39,06	132,43	+ 19,26	+ 30,46
07	109,02	12,65	7,67	20,32	23,43	112,13	+ 3,11	+ 33,57
08	119,23	10,28	7,59	17,87	28,08	129,44	+ 10,21	+ 43,78
09	126,12	12,86	6,39	19,25	26,68	133,55	+ 7,43	+ 51,21
10	138,78	14,97	8,44	23,41	36,07	151,44	+ 12,66	+ 63,87
11	135,05	15,47	9,38	25,57	24,98	134,46	- 0,59	+ 63,28
12	131,63	16,07	8,26	24,69	29,87	136,81	+ 5,18	+ 68,46

Fonte: Autoria própria.

Quadro 12 - Estimativa do balanço de biomassa na herbivoria (compartimento C8) na Bacia hidrográfica de medidas efetuadas em (kg/ha/mes).

Mês	Estoque em Nas flores e Frutos (C8)	Saída		Saída Total $\sum (A_{ij})$ (A _{ij})	Entrada Total (A _{ij})	Estoque Metabólico	Saldo de Biomassa no Estoque	Saldo cumulativo De biomassa no estoque
		Serapilheira (A _{ij})	Herbivoria (A _{ij})					
01	130,48	78,1	8,48	86,58	87,52	131,42	+ 0,94	+ 0,94
02	131,42	84,95	8,72	93,67	94,37	132,12	+ 0,7	+ 1,64
03	132,12	80,47	8,95	89,42	89,89	132,59	+ 0,47	+ 2,11
04	132,59	82,53	9,19	91,72	91,95	132,82	+ 0,23	+ 2,34
05	132,6	78,06	9,41	87,48	87,48	132,83	+ 0,01	+ 2,35
06	132,6	73,82	9,42	83,24	83,24	132,84	0	+ 2,35
07	132,59	70,7	9,43	80,13	80,12	132,74	- 0,01	+ 2,34
08	132,83	75,53	9,66	85,19	84,95	132,98	+ 0,24	+ 2,58
09	132,12	75,81	9,89	85,7	85,23	132,51	- 0,47	+ 2,11
10	130,83	80,31	10,13	90,49	89,73	131,22	- 1,29	+ 0,82
11	129,89	79,73	10,36	90,09	89,15	130,28	- 0,94	- 0,12
12	128,95	80,16	10,36	90,52	89,58	129,34	- 0,94	- 1,06

Fonte: Autoria própria.

A estimativa do balanço de massa no solo superficial (Quadro 13) mostra um saldo no estoque variando de um déficit máximo de 11,89 kg/ha/mês até um superávit máximo de

11,99 kg/ha/mês. O saldo cumulativo variou de um déficit mínimo de 5,11 kg/ha/mês até um superávit máximo de 18,15 kg/ha/mês. O saldo positivo final foi de 6,86 kg/ha/mês.

Quadro 13 - Estimativa do balanço de massa no solo superficial (compartimento C4) na Bacia Hidrográfica de Dois Rios (IG-RJ). Medidas efetuadas em kg/ha/mês.

Mês	Saída		Saída Total (Aij)	Entradas			Entrada total	Saldo de Biomassa no estoque	Saldo cumulativo De biomassa no estoque
	Curso d'água (Aij)	Raízes (Aij)		Detritívoria Aij	Sub-solo Aij	Serapilheira Aij			
01	13,09	1040,38	1053,38	970,85	17,15	76,43	1064,43	+ 11,05	+ 11,05
02	17,48	1071,03	1088,51	996,81	10,65	73,07	1080,53	- 7,98	+ 3,07
03	19,06	1051,11	1070,17	984,4	18,5	74,88	1077,78	+ 7,61	+ 10,68
04	18,64	1059,78	1078,42	984,49	16,19	73,08	1073,76	- 4,66	+ 6,02
05	14,17	1044,66	1058,83	973,47	12,17	73,95	1059,59	+ 0,76	+ 6,78
06	15,75	1040,06	1055,81	961,96	10,49	71,47	1043,92	- 11,89	- 5,11
07	10,43	1023,61	1034,04	957,17	11,49	77,32	1045,98	+ 11,94	+ 6,83
08	11,52	1039,34	1050,86	963,75	13,65	71,14	1048,54	- 2,32	+ 4,51
09	11,96	1038,54	1050,5	964,35	16,45	72,21	1055,01	+ 4,51	+ 9,02
10	12,07	1024,09	1036,16	966,98	15,78	62,53	1045,29	+ 9,13	+ 18,15
11	13,24	1062,9	1076,14	991,23	15,99	66,26	1073,48	- 2,66	+ 15,49
12	14,81	1054,19	1069,0	981,53	14,72	64,12	1060,37	- 8,63	+ 6,86

Fonte: Autoria própria.

Observou-se duas sequências de vias principais no modelo analisado: C1-C3-C7-C4-C5-C2-C1 e C1-C8-C9. A primeira representa o fluxo pela vegetação e a segunda o fluxo através das populações animais. Aproximadamente 90% do fluxo se dá através da vegetação e 10% pela cadeia animal. Ao comparar os coeficientes de transferência, nota-se que os mais significantes são entre: as saídas da serapilheira (C3) para detritívoros (λ 3,7) e para o solo (λ 3,4), as entradas (λ 2,1) nas folhas (C1) a partir dos caules (C2), as entradas nos herbívoros (C8) a partir das folhas (λ 1,3) e frutos (λ 6,3). A saída da serapilheira deve ser numericamente grande porque acumula o resultado de muitas entradas diferentes e, portanto, tem uma função integradora no sistema. Se a saída da serapilheira for grande, os vetores λ 7,4, λ 4,5, λ 5,2 também deverão ser grandes, pois há um acoplamento direto da serapilheira para os caules através do solo e das raízes. A via dos caules para as folhas representa a saída principal dos primeiros e fecha a sequência da vegetação: C1-C3-C7-C4-C5-C2-C1. A via das folhas para herbívoros é a entrada principal para a sequência nos animais. Os coeficientes de transferência λ 3,7 e λ 2,1 são de interesse especial, pois representam o local de numerosas entradas e/ou refletem importantes transferências biológicas (SILVA, 2020).

Admitiu-se como premissa do modelo que a entrada da atmosfera e do intemperismo fosse igual à saída da camada ativa do solo, de modo que os ciclos animal e vegetal estivessem em equilíbrio. Parece razoável admitir que o sistema esteja em equilíbrio. Não obstante, pode haver lixiviação de minerais para baixo das camadas ativas do solo com velocidades maiores que a da entrada da atmosfera. Essas perdas podem ser compensadas por entradas do subsolo. Se a hipótese de equilíbrio estiver incorreta, então as velocidades de transferência serão maiores que as encontradas (0,33%), estando a maior parte no horizonte orgânico-mineral (7,5% no A11 e 91,8% no A12). Nas Matas do Pediplano, uma importante fração de raízes (28%) concentra-se nas camadas holorgânicas, principalmente no horizonte H (SILVA, 2020).

Quadro 14 - Fluxos Mensais de Biomassa na Bacia Hidrográfica de Dois Rios (IG-RJ). Medidas em kg/ha/mês.

Fluxos (λ)	Meses											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
$\lambda_{1,2}$	810,13	828,19	815,29	819,71	809,25	805,36	797,21	803,47	808,15	812,82	813,59	812,27
$\lambda_{1,8}$	78,94	85,32	81,42	82,42	78,76	75,97	72,45	77,36	78,84	81,29	79,32	80,96
$\lambda_{2,3}$	128,05	131,07	129,37	130,26	129,76	127,38	130,22	132,99	127,53	121,33	142,65	134,65
$\lambda_{2,6}$	23,17	26,45	25,03	27,39	30,97	26,93	23,73	25,52	24,02	26,65	27,34	25,81
$\lambda_{3,3}$	14,67	19,08	21,85	15,57	19,32	12,53	12,65	10,28	12,86	14,97	15,74	16,07
$\lambda_{3,8}$	8,58	9,05	8,47	9,53	8,72	7,27	7,67	7,59	6,39	8,44	9,83	8,62
$\lambda_{4,1}$	20,24	18,13	19,56	18,83	16,34	16,24	11,92	15,17	18,14	17,85	19,23	19,53
$\lambda_{5,2}$	16,19	14,94	15,32	14,25	13,95	11,47	7,32	11,14	14,21	12,53	16,26	14,12
$\lambda_{6,11}$	13,09	17,48	19,06	19,64	14,17	15,75	10,43	11,52	11,96	12,07	13,24	14,81
$\lambda_{7,1}$	889,07	913,51	896,71	902,13	888,01	869,66	869,66	880,83	886,99	894,91	892,91	893,73
$\lambda_{7,4}$	16,19	14,94	15,32	14,25	13,95	7,32	7,32	11,14	14,21	12,53	16,26	14,12
$\lambda_{8,7}$	970,85	996,81	984,4	984,49	973,47	957,17	957,17	963,75	964,35	966,98	991,23	981,53
$\lambda_{9,2}$	1040,29	1071,03	1051,11	1059,78	1044,66	1023,61	1023,61	1039,34	1038,54	1042,09	1062,9	1054,19
$\lambda_{10,4}$	7,15	0,65	0,5	0,19	2,17	1,49	1,49	3,65	6,45	5,78	5,99	4,72
$\lambda_{11,3}$	78,1	84,95	80,47	82,53	78,06	70,7	70,7	75,53	75,81	80,31	79,73	80,16
$\lambda_{12,3}$	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42
$\lambda_{13,3}$	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42	9,42
$\lambda_{14,2}$	1040,29	1071,03	1051,11	1059,78	1044,66	1040,66	1023,61	1039,34	1038,54	1042,09	1062,9	1054,19
$\lambda_{17,4}$	970,85	996,81	984,4	984,49	973,47	961,96	957,17	963,75	964,35	966,98	991,23	981,53

Fonte: Autoria própria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. R. Serviços ecossistêmicos e sua interdependência. **Revista de Ciência Ambiental**, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/ric.2014.10505>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- ALMEIDA, R. P. Serviços ecossistêmicos e sua legislação. **Congresso Brasileiro de Política Ambiental**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/9788580392425>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. **Risco Ambiental**. 1. ed. São Paulo: Edgart Blucher LTDA, 2017. v. 1. 134 p. DOI: <https://doi.org/10.5151/9788580392401>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. **Vulnerabilidade Ambiental**. 1. ed. São Paulo: Edgart Blucher LTDA, 2017. v. 1. 112 p. DOI: <https://doi.org/10.5151/9788580392425>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- COSTA, F. L. Dinâmica hídrica na floresta tropical. **Revista Brasileira de Hidrologia**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6492.2024.001.0005>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- COSTA, P. A. A relação entre ecossistemas e serviços ambientais. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6492.2020.001.0004>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- CUNHA, R. R. S. B.; ARAUJO, G. H. de S.; RODRIGUES, M. G.; ALMEIDA, J. R. Biometria da sinúsia arbórea de fragmentos florestais do domínio tropical atlântico (Ilha Grande-RJ). **Revista Internacional de Ciências**, v. 5, p. 74-82, 2015. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2015.17102>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- FERREIRA, L. M. Funções ecossistêmicas e sua relevância. **Revista Internacional de Ciências**, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/ric.2015.17102>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- LELACHER, C. D.; ALMEIDA, J. R.; BARBOSA, O. R.; MATTA, P. S.; CUNHA, T.; GUROVA, T. Agentes e processos de interferência, risco, impacto e dano ambiental: sistemas terrestres. **Revista Internacional de Ciências**, v. 13, p. 69-76, 2023. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2023.72623>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- LINS, G. A.; PEREIRA, R. C.; MATTA, P. S.; BARBOSA, O. R.; CUNHA, T. S.; GUROVA, T.; ALMEIDA, J. R. Modelagem de circulação de biomassa em caules presentes em fragmentos vegetacionais afetados por impactos ambientais urbanos. **Nature and Conservation**, v. 15, p. 1110-1120, 2023. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2022.003.0005>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- LINS, G. A.; RIOS, E. S.; PARCIAL, A. L. N.; RODRIGUES, M. G.; ALMEIDA, J. R. Structural analysis of a tropical forest ecosystem. **Revista Internacional de Ciências**, v. 4, p. 85-91, 2014. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2014.10505>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- MARIANO, J. B.; OLIVEIRA VASCONCELOS, A.; MAMEDE DA SILVA, P.; CARRASCAL, M. H.; LA ROVERE, E. L.; ALMEIDA, J. R.; LANDAU, L. GIS-based modeling of the environmental vulnerability of the Amazon region to the upstream oil and gas activities. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 42, p. 1-22, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/14615517.2024.2430851>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- MARTINS, F. A dinâmica dos ecossistemas. **Journal of Environmental Science**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14615517.2024.2430851>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- MARTINS, G. A precipitação e seu impacto nos ecossistemas. **Journal of Environmental Studies**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/jes.2023.10876>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- MATTA, P. S.; AGUIAR, L. A.; ALMEIDA, J. R.; PEREIRA, R. C.; GUROVA, T.; CUNHA, T. S. Impactos ambientais por desflorestamento em ambientes urbanos. **Revista Internacional de Ciências**, v. 1, p. 1-41, 2023. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2023.80592>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- OLIVEIRA, J. B. Ecossistemas e sua biodiversidade. **Revista Internacional de Ecologia**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/rie.2022.98432>. Acesso em: 14 mar. 2025.

OLIVEIRA, S. C. Transferência de matéria nos ecossistemas. **Revista de Ecologia Aplicada**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6417.2022.001.0002>. Acesso em: 14 mar. 2025.

SANTOS, J. N.; VITORIO, C. V. A.; PEREIRA, R. C.; NETTO, A. T.; MATTA, P. S.; CUNHA, T. S.; GUROVA, T.; LIMA, E.; ALMEIDA, J. R. Custo ecológico do uso integral de recursos florestais para fins energéticos. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, p. 8567-8578, 2023. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv9n2-153>. Acesso em: 14 mar. 2025.

SANTOS, M. F. Polinização e serviços ecossistêmicos. **Brazilian Journal of Ecology**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/bje.2021.76532>. Acesso em: 14 mar. 2025.

SILVA, C. V. V.; LENZ, E. R. da S.; LINS, G. A.; ALMEIDA, J. R. de; AGUIAR, L. A. Conceitos de ecologia aplicada para a gestão de bacias hidrográficas. **Environmental Scientiae**, v. 2, p. 44-47, 2020. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6492.2020.001.0004>. Acesso em: 14 mar. 2025.

SILVA, J. B. **Modelagem de fluxos ecossistêmicos: uma abordagem quantitativa**. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/9788580392401>. Acesso em: 14 mar. 2025.

SILVA, R. B. Ciclagem de nutrientes e regulação climática. **Revista Internacional de Ciências**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/ric.2023.72623>. Acesso em: 14 mar. 2025.

VITORIO, C. V. A.; MATTA, P. S.; CUNHA, T. S.; AGUIAR, L. A.; ALMEIDA, J. R. Evaluaciones de impacto ambiental. **Management Journal**, v. 4, p. 14-26, 2022. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6417.2022.001.0002>. Acesso em: 14 mar. 2025.

ZUNTINI PINTO, H. M.; VITORIO, C. V. A.; ALMEIDA, J. R.; BARBOSA, O. R.; PEREIRA, R. C. Métodos de interpretação. **Revista Internacional de Ciências**, v. 14, p. 81-94, 2024. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2024.87944>. Acesso em: 14 mar. 2025.



Este trabalho está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).