Eucalyptus Online Book & Newsletter

TAPPI people resources solutions

ABTCP Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

°Celsius Degree / Grau Celsius

Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos:

Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores

Celso Foelkel

www.celso-foelkel.com.br
www.eucalyptus.com.br

Patrocinadores desse capítulo

No aguardo de seu Logo e Patrocínio

Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos:

Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores

Celso Foelkel

AGRADECIMENTOS & BREVES PALAVRAS DO AUTOR

Agradeço aos muitos autores de um grande número de trabalhos que consultei, a maioria deles escritos e publicados no Brasil, mostrando o nível de conhecimento e de profundidade com que se tem estudado esse tema nesse País. Graças a eles consegui aumentar meus conhecimentos para transmitir o que aprendi a vocês.

Espero sinceramente que apreciem o que lhes estou oferecendo nesse instigante capítulo, algo para se ler e para refletir muito.

Estarei sempre aguardando as visitas de vocês no www.eucalyptus.com.br para que façam download dos capítulos dos nossos Eucalyptus Online Book & Newsletter. Visitem também o www.celso-foelkel.com.br para leitura de artigos, palestras e para que tenham acesso a fantásticas fotos dos eucaliptos. Não se esqueçam que, em caso de qualquer dúvida, podem-se valer da seção Pergunte ao Euca Expert, disponível em ambos os websites.

Um abraço, obrigado e até o próximo capítulo
Celso Foelkel

CONTEÚDO

1. A formação da biomassa da árvore
2. A origem da ciclagem dos nutrientes nas florestas plantadas de eucaliptos
3. Os diferentes compartimentos de biomassa florestal
4. Os fluxos de bioelementos em ecossistemas florestais
5. Acúmulo de bioelementos nutrientes nas diferentes partes das árvores
6. A serapilheira ou manta orgânica e a ciclagem de bioelementos nutrientes
7. Utilização dos nutrientes liberados pela manta orgânica
8. Exportação de nutrientes das florestas plantadas de eucaliptos
9. Liberação de nutrientes mediante a queima da biomassa
10. Eficiência de utilização dos nutrientes pela floresta
    10.1. Coeficiente de utilização de nutrientes para produção da biomassa dos compartimentos da árvore
    10.2. Índice de exportação biológica dos elementos
11. Balanços nutricionais para os bioelementos
12. Teores de componentes inorgânicos e minerais nas madeiras dos eucaliptos
13. Recomendações e conclusões finais
14. Referências da literatura

1. A FORMAÇÃO DA BIOMASSA DA ÁRVORE

As árvores do eucalipto, da mesma forma que a grande maioria das plantas, necessitam de poucos ingredientes para crescer e reproduzir. Apesar de poucos, eles são essenciais em sua quantidade. A falta de algum elemento importante no metabolismo acaba por fragilizar a planta, que crescerá mal, ficará mais susceptível a pragas e doenças, poderá não adquirir maturidade sexual e, muitas vezes, acaba morrendo.

Basicamente, a planta do eucalipto necessita captar o CO_2 e o O_2 do ar para realizar duas importantes atividades metabólicas: a fotossíntese e a respiração. Para a fotossíntese, a planta necessita ainda da água absorvida, principalmente do solo. A fotossíntese, apesar de ser uma reação química muito simples, constituída da síntese da glucose a partir do gás carbônico, água e energia solar, é uma complexa rota metabólica que o homem está longe de copiar em escala artificial. Nos cloroplastos, existentes principalmente nas folhas, a planta realiza uma das mais importantes reações da natureza: transforma energia solar em energia química. Os eucaliptos são muito eficientes nisso. Afinal, são as árvores recordistas em produtividade de crescimento, como acontece no Brasil. Geram anualmente muita matéria seca em seus troncos, ramos, folhas, frutos, flores e raízes. Logo, produzem muita fotossíntese em suas folhas, apesar de suas diminutas copas nas árvores. Os eucaliptos são, definitivamente, um fenômeno fotossintético.

A água, que é principalmente retirada do solo pelas raízes, tem três funções principais: participar da reação de fotossíntese, ser transpirada pelas aberturas dos estômatos e ser veículo para transporte como seivas. Na verdade, a transpiração existe nas árvores para favorecer a subida da seiva mineral até as folhas. Sabiamente, as plantas desenvolveram um sistema que é útil tanto para a fotossíntese, como para ajudar na translocação da seiva bruta com os preciosos bioelementos minerais. Sem esses elementos minerais, a maioria das reações metabólicas não ocorreria. Eles, ou estão presentes nas fórmulas de compostos intermediários, ou catalisam reações

enzimáticas e metabólicas. A respiração, por exemplo, que consiste na queima dos açúcares para liberar energia para a planta, depende da presença de fósforo. A geração de proteínas exige o nitrogênio para que se formem os amino-ácidos.

Com muita sabedoria, os vegetais desenvolveram esse sistema simples de absorção de água e nutrientes minerais do solo, seguido de um sistema de translocação da seiva mineral até as folhas. Finalmente, com a seiva orgânica pronta, a translocação é inversa, de cima para baixo. A seiva elaborada orgânica, concentrada em açúcares, proteínas, etc., deve retornar aos galhos, ramos, raízes, caule. Ela faz isso pela casca, através do tecido conhecido como floema. Para que tudo isso aconteça, as diferenças em pressões osmóticas são essenciais. Uma seiva elaborada concentrada desce pela casca em direção a locais menos concentrados em seus constituintes.

Em resumo, tudo isso é de uma sabedoria inacreditável, pela simplicidade e funcionalidade.

Evidentemente, uma árvore recordista em crescimento depende de ter esses "alimentos" todos para crescer e formar sua biomassa. Chamamos de biomassa a toda e qualquer matéria vegetal formada pela planta. Como a umidade dessa matéria varia bastante, costuma-se expressar as quantidades de biomassa em base seca. Há diferentes compartimentos (ou órgãos, ou partes) da planta onde ela coloca sua biomassa, mas em geral o florestal e o botânico dividem isso em: tronco (xilema e casca), raízes, galhos e folhas. Essa divisão se faz importante para se conhecer as proporções entre essas diferentes biomassas na

árvore. Isso é importante para se saber onde a planta coloca sua biomassa e de que forma melhorá-la para colocar mais biomassa nas partes que nos interessam.

Se soubermos como e porque a planta faz essa divisão de suas biomassas, poderemos melhorar a produtividade e engenheirar melhor a forma das árvores. Quando alguém planta uma floresta comercial de eucalipto para usar sua madeira, interessa alta produção de madeira no tronco (a maior possível), com mínimas quantidades de biomassa formada na copa, casca e raízes. Se outro planta *Eucalyptus globulus* para extrair óleos essenciais das folhas, interessa máxima produção de copa e não importa tanto se o cultivo produz muita ou pouca madeira. Cada usuário olha a sua floresta com uma visão: alguns sonham com a madeira, outros com as folhas, e há os que enxergam apenas os cifrões e muito pouco de seu ambiente.

Quando se faz o melhoramento genético de árvores para plantio comercial, interessa que a forma da árvore seja a mais retilínea possível, com mínima quantidade de galhos laterais e copa. Queremos o tronco, precisamos de sua madeira. Para desenvolver o tronco, é importante conhecer a fisiologia da árvore e os principais processos metabólicos que ela desenvolve. Precisamos também conhecer a nutrição das árvores, para não deixar faltar elementos vitais ao crescimento. Por exemplo, o eucalipto necessita muito de dosagens adequadas do elemento mineral boro em sua nutrição. Se o boro faltar em determinadas situações edafo-climáticas, ocorre uma anormalidade do crescimento, que é a morte do ponteiro apical do tronco e de muitos ramos. Com isso, quando se restabelece o equilíbrio nutricional de novo,

a planta emite novos ponteiros para compensar os que morreram. Ela sobreviverá, mas sua forma florestal estará definitivamente comprometida. Terá tronco defeituoso e tortuoso e muitos galhos.

Comentamos, então, que a planta do eucalipto necessita de água, elementos minerais, oxigênio e gás carbônico para viver. Não é muito diversificada a sua ração alimentar, mas ela precisa definitivamente ser balanceada. A água é o alimento que a planta mais necessita. Como os estômatos precisam ficar abertos para a planta se alimentar de gás carbônico e de oxigênio, a água se perde com facilidade por transpiração. Por essa razão, atribui-se ao eucalipto a fama de grande consumidor de água do solo. A faixa de evapo-transpiração de florestas de eucalipto está entre 800 a 1200 mm/ano. Isso significa que plantar florestas de eucaliptos onde chove menos que 800 mm por ano dependerá de encontrar as espécies adaptadas a isso, e não se pode esperar grandes produtividades. Definitivamente, os déficites hídricos afetam a produção, pois as plantas fecham os estômatos, perdem folhas e, não fazem, ou fazem pouca fotossíntese durante esse período.

Os florestais estão sempre estabelecendo estratégias para minimizar os efeitos das restrições ao crescimento, como falta de água, minerais, insolação, etc. Para compensar a falta de água no plantio, ou em certas épocas do ano, usam a irrigação. Para compensar a falta de elementos minerais, procedem à fertilização mineral. Para garantir mais água no solo, técnicas conservacionistas são desenvolvidas para impedir que a água da chuva vá embora do sítio florestal na forma de enxurradas. Ou seja, existe muita ciência e muita tecnologia envolvidas para se plantar e se colher florestas de alta produtividade de eucaliptos. Altas produtividades não são dádivas divinas.

Hoje, fala-se muito em plantar florestas de forma sustentável. Isso significa conhecer as demandas e as remoções de nutrientes e de água pelas plantas, para ser possível ajustá-las e otimizá-las. Com isso, evita-se que o sítio se empobreça para as gerações futuras de florestas que forem nele plantadas. Sustentabilidade implica, em última análise, na eficiência do uso dos recursos naturais (água, luz, solo) e na adequada reposição dos recursos exportados e perdidos, quer ao longo

da rotação ou então na colheita. Há ainda perdas de nutrientes por erosão, percolação para camadas profundas do solo, lixiviação, volatilização, etc. Há também perdas de água por evaporação, com isso o solo se resseca e se compacta.

A tecnologia florestal foi sendo desenvolvida em função dos conhecimentos desenvolvidos sobre as relações que ocorrem entre os genes das plantas (fator genético), sua fisiologia (metabolismo) e as restrições ambientais (meio ambiente). Com isso, as florestas plantadas de eucalipto foram ficando mais eficientes, usando cada vez melhor esses recursos limitantes ao crescimento. Em outro capítulo desse livro virtual, procuraremos discutir muito mais sobre esse tema, que seria sobre as formas de se otimizar a produtividade e garantir a perpetuidade da capacidade produtiva do sítio. Nesse capítulo, discorreremos sobre os minerais nutrientes e como não esgotá-los, apenas uma parte do grande tema que é a sustentabilidade florestal. Estamos agora introduzindo o tema da fisiologia da árvore e de como ela produz a biomassa que precisamos comercialmente: o que ela consome e o que se perde nesse processo.

Para crescer, a planta se relaciona com o meio ambiente. Ela faz isso, principalmente pelas raízes e pelas folhas. Os seus estômatos estão sempre se abrindo ou fechando, conforme a umidade e a temperatura do ar. As raízes também funcionam mais ou menos assim, conforme a umidade do solo. Se há água no solo, ou se existem gradientes de água no solo (regiões mais úmidas e outras mais secas), as raízes sabem encontrar o caminho das áreas mais úmidas. Com a água no solo, e com a água dentro das plantas, devido às diferenças de pressão osmótica, a planta tem mais facilidade de sugar os elementos para dentro de si. As membranas das células das raízes funcionam então como incríveis membranas osmóticas. Entretanto, isso não se faz passivamente. A planta sabe o que precisa e de quanto precisa. Óbvio que se houver muito nutriente no solo, ela é menos cuidadosa e acaba "comendo" mais do que precisa. Entretanto, as raízes evitam sugar demasiado de alguns íons, pois sabem sobre a fitotoxicidade que causam. É o caso de altas concentrações de ferro e cloretos. A planta, a

partir de um certo ponto, começa a limitar ativamente essa absorção, pois esses elementos, em excesso, podem trazer alguma toxicidade a ela. A absorção então não é passiva. Uma sabedoria da mãe natureza.

Vamos agora entender um pouco sobre como a planta fabrica as suas biomassas e porque as compartimenta em galhos, folhas, flores, frutos, raízes, madeira e casca. No primeiro capítulo desse livro virtual, falamos sobre a casca, como ela é produzida, o porque de se ter necessidade de casca nas árvores. Em geral, ela representa uma fração importante da biomassa aérea da árvore do eucalipto, entre 6 a 15% do peso dessa parte aérea da floresta. Já a galharia lateral e a copa dependem muito de como as árvores são plantadas e do genótipo que se tem na planta. Uma árvore de eucalipto plantada isoladamente desenvolve uma copa frondosa e galhos laterais grossos. Mesmo uma árvore melhorada para alta produtividade, quando plantada isoladamente, desenvolve galhos grossos e mais copa. Com ilimitado suprimento de luz e com todo o solo a explorar, ela não encontra competição por esses recursos. Com isso, alarga sua copa e produz muitas folhas. O excesso de folhas favorece tanto a transpiração, como a fotossíntese. Entretanto, nessas condições, os produtos da fotossíntese são "inadequadamente" alocados em galhos, copa e raízes. A árvore cresce menos em tronco, tanto em altura como em diâmetro.

Outra perda de fotoassimilados ocorre nas florações e frutificações. A árvore do eucalipto isolado floresce intensamente para sorte das abelhas, mas uma parte importante da energia produzida pela fotossíntese é utilizada para se produzir flores e frutos.

As folhas dos eucaliptos são muito eficientes e trabalhadoras. Apesar das copas das árvores dos eucaliptos não serem muito folhudas, há uma grande produção orgânica nelas. Uma das formas de se medir a quantidade de folhas em uma floresta é através do Índice de Área Foliar. Esse índice consiste em uma relação entre a área de folhas pela área superficial de solo. Costuma ser expresso em m^2 de folhas/m^2 de solo. Nessa avaliação, mede-se apenas uma das faces das folhas. O IAF é diretamente ligado à fotossíntese e à transpiração. Para uma mesma espécie, ou para comparações entre clones, as árvores que possuem maior IAF têm maiores chances de serem mais produtivas. Evidentemente, não é um índice bom para comparar espécies, pois há espécies muito folhudas e que não possuem grande produtividade. É o caso do *Eucalyptus torelliana*. Ainda, para uma mesma espécie ou clone, as árvores com maior IAF costumam translocar mais água por transpiração. Há uma relação direta então entre IAF e área de alburno no tronco.

O IAF varia de 2 a 4,5 entre os eucaliptos. Inicialmente, quando as plantações acabaram de ser feitas, as árvores crescem relativamente isoladas. Elas começam a produzir muitas folhas e a ocupar mais a área do solo. Com isso, o IAF de quase zero nas mudinhas, cresce para valores de 3 a 4,5 por volta dos 1,5 a 2 anos de idade da floresta, quando as copas começam a se tocar. A seguir, com a competição, ramos e folhas começam a morrer e o IAF cai, com o aumento da idade, até se estabilizar entre 1,5 a 2,5 para a maioria dos eucaliptos em plantios comerciais. Há entretanto, espécies ou clones que perdem poucas folhas, e nessas condições, o IAF permanece mais ou menos constante a partir de uma certa idade (por exemplo, a partir dos 3 a 4 anos). Considerando os valores de IAF que variam de 1,5 a 4,5 e levando-se em conta os espaçamentos praticados no Brasil (6 m^2 por planta), nossas árvores possuem então entre 10 a 30 m^2 de folhas por árvore. São copas pequenas, mas não deixam de possuir uma área respeitável de folhas, com seus estômatos e cloroplastos trabalhando a mil.

Com relação ao uso dos produtos da fotossíntese, é importante se saber que a maior parte desses compostos de carbono são queimados

biologicamente pela planta por respiração, para gerar energia para seu metabolismo. A planta usa essa energia para formar proteínas, ceras, graxas, óleos, novas paredes celulares e para as translocações dos compostos de uma parte para outra na mesma. Ao respirar, a planta queima, com o uso do oxigênio, açúcares formados durante a fotossíntese. Libera com isso, gás carbônico para a atmosfera. Praticamente 50% do carbono que foi fixado pela fotossíntese é queimado pela respiração e moléculas de CO_2 são restituídas à atmosfera de novo. Isso acontece também, porque a planta está sempre tendo que repor folhas, ramos, casca e formando xilema. É inacreditável a quantidade de folhas, galhos e casca que caem à superfície do solo na floresta plantada de eucalipto. Logo falaremos sobre isso.

Para a madeira do tronco, sobra pouco carbono para ali ser alocado: cerca de 30 a 35%, ou seja, pouco em relação à quantidade de carbono capturado pela fotossíntese. O balanço de carbono na planta é algo que está sendo bastante estudado atualmente. O objetivo é se ter copas eficientes em fixá-lo e plantas eficientes em se utilizá-lo para formar madeira. Para isso, é importante se conhecer os mecanismos de crescimento das árvores e como elas respondem às utilizações dos recursos naturais. Com isso, espera-se aumentar a produtividade das árvores, aumentando a eficiência na produção de açúcares e no uso deles para produção de xilema. Estamos aqui, mais uma vez, colocando um conflito entre os conceitos de produção e produtividade e os conceitos ambientalistas. Aos ambientalistas, interessa que a planta cresça e floresça, que tenha seu ciclo vegetativo completo, que despeje sobre o solo muita serapilheira (camada de folhas e galhos) e que fixe carbono para reduzir o efeito estufa. Já para a maior produtividade florestal, o bom seria que a copa fosse folhuda e mais perene, que a árvore não desperdiçasse tanta biomassa para o solo como serapilheira, que usasse muito mais fotoassimilados no xilema, não desperdiçando o mesmo florescendo, frutificando e formando casca e raízes. Com isso, a alocação de carbono no xilema seria maior e a floresta produziria mais madeira.

O resultado que se tem obtido dessa especialização é muito interessante. As árvores que crescem mais e que formam mais madeira e menos raízes, casca, folhas e galhos, gastam muito menos de seus elementos vitais para a formação de mesma massa de madeira que outras menos produtivas. Isso significa que para cada tonelada de madeira formada, elas gastam, e exportam na colheita, menores quantidades de elementos nutrientes por tonelada desse produto. Há um senão porém: como a produção bruta de biomassa é maior, e como a proporção de biomassa útil removível (madeira) é também maior, a remoção total de elementos nutrientes por hectare é também maior e mais impactante. Mais uma vez a ciência e a tecnologia precisam encontrar os caminhos para balancear adequadamente os ganhos de produtividade com os ganhos ou perdas ambientais. Novas formulações de adubações e mesmo de irrigação surgirão, procurando tornar o ecossistema mais equilibrado, menos vulnerável e mais sustentável.

2. A ORIGEM DA CICLAGEM DOS NUTRIENTES NAS FLORESTAS PLANTADAS DE EUCALIPTOS

Quando um investidor consciente e ambientalmente correto planta uma floresta de eucalipto para utilização da madeira, ele tem claramente definidas suas metas: produzir a maior quantidade de produto, no menor intervalo de tempo, com a máxima eficiência na utilização dos recursos naturais e com o mínimo impacto ambiental. Ao plantar suas mudinhas de eucalipto, ele precisa fazer isso de forma a conservar o solo: evitar a erosão, preservar a micro-vida, reter a água no solo, bem como procurar repor a maioria dos nutrientes que foram exportados pela colheita.

As mudinhas de eucalipto recém plantadas primeiro procuram se enraizar, gastam quase toda a energia inicialmente produzida pela fotossíntese para formar novas raízes. Essas devem buscar águas e nutrientes para favorecer o arranque de crescimento da parte aérea

(caule e copa). Novas folhas devem surgir para aumentar a área fotossintetizadora. A prioridade inicial são definitivamente as raízes. Por essa razão, e sabedores disso, nossas mudas precisam ter raízes boas, vivas e bem formadas e distribuídas.

Caso tenhamos mudas com raízes deformadas e mortas, a planta crescerá mal, sofrerá e pode até vir a morrer nos primeiros anos de vida, como mostrado nas fotos a seguir.

As raízes jovens crescem vigorosamente, tanto para os lados, como em profundidade. Se o solo não tiver impedimentos rochosos, ou camadas compactadas, ou lençol freático superficial, as raízes rapidamente atingem profundidades de 1,5 a 2 metros, e lateralmente, criam-se milhares de quilômetros de raízes finas por hectare. As raízes começam a coletar água e nutrientes desse solo ao longo de seu perfil em profundidade. Muitos nutrientes, até os de camadas mais profundas, são absorvidos pelas plantas e começam a exercer sua função nas mesmas. Ocasionalmente, quando a planta jogar suas folhas ou ramos

mortos de volta ao solo, os nutrientes cairão na superfície do solo, mudando sua posição no mesmo. De regiões mais profundas do solo, alguns nutrientes retornam ao solo, mas agora para sua superfície.

Depois de ter um sistema radicular capaz de capturar água e nutrientes, as plantas procurarão desenvolver o máximo de área foliar para máxima captação da energia solar e produção de compostos orgânicos. Com isso, elas esperam crescer e se fortalecer, tornando-se vigorosas e resistentes. Parte dos compostos recém produzidos já são respirados e parte é alocada em novas folhas, raízes e galhos. A atividade meristemática é intensa, tanto nos meristemas apicais como no câmbio. Nessa fase, o tronco recebe pouco da energia dos fotoassimilados, que são mais destinados à copa e às raízes. O tronco cresce rápido em altura, mas pouco em diâmetro, comercialmente falando.

Interessa, silviculturalmente e nesse momento, que a árvore tenha bastante folhas. Os espaçamentos muito apertados acabam trazendo a competição entre as árvores muito cedo e folhas e ramos ainda úteis começam a morrer e a cair. Menos folhas significa menos fotossíntese e menos compostos formados pela fotossíntese.

Para as plantações de eucaliptos até os 1,5 a 3 anos, as árvores estão preocupadas em formar copa e menos interessadas em formar madeira. Tanto é verdade, que os inventários florestais só começam a

serem feitos a partir dos 2 ou 3 anos. Lembrar que o índice de área foliar do povoamento cresce de quase zero até 3 a 4,5 até os 2 a 3 anos de idade da floresta. Aos 3 anos, uma floresta comercial de eucalipto tem cerca de 15 a 20% de seu peso seco nas raízes, 10 a 12% nas folhas, 8% nos ramos, 10% na casca e entre 50 a 55% na madeira do tronco.

Florestas jovens de eucaliptos, com 8 a 12 meses de idade

Com o crescimento e aumento da idade, as árvores começam a se tocar e a competir por água, nutrientes e luz. A competição começa a mostrar seus efeitos sobre os ramos e folhas inferiores na altura das árvores. As plantas passam a dispor deles para o solo, mas antes retiram alguns de seus nutrientes para crescer em altura. Folhas e galhos mortos começam a cair no solo. A casca começará a se soltar como ritidoma, em geral a partir dos 4 anos. À medida que esse material cai ao solo, muda o ecossistema. Material orgânico fresco cai sobre um solo receptivo a ele. Essa manta orgânica de folhas, galhos e casca que começa a se formar sobre o solo é chamada de serapilheira, serapieira, "litter" ou manta orgânica.

Entretanto, ela ainda está longe de se decompor completamente e de liberar nutrientes de volta ao solo. Primeiro, que os componentes das árvores possuem certos compostos tóxicos para sua proteção e defesa. Isso faz com que a decomposição não seja imediata. Segundo, a relação C/N desse material também não é favorável para uma rápida e imediata decomposição. Disso exposto, tomará um certo número de meses para que as primeiras folhas que caíram ao solo passem a liberar seus nutrientes de volta ao solo e depois de volta às plantas. Essa serapilheira, entretanto, enquanto se decompõe, estará protegendo o solo contra a erosão e retendo umidade para a floresta e para a microbiologia da floresta. A decomposição do material orgânico que cai das árvores até o solo dá origem a um dos mais belos fenômenos naturais que ocorrem nas plantações dos eucaliptos. Chamamos a isso de "ciclagem de nutrientes". Ao se decompor, esse material libera de novo seus elementos para a camada superficial do solo. Parte ficará na forma de corpos de microrganismos, parte será retida pelo solo (pelo carbono orgânico ou pela argila) e parte será de novo absorvida pelas árvores do eucalipto. Os compostos orgânicos passam a se decompor em frações cada vez mais simples, até se transformar em húmus, que enriquece o solo em nutrientes e em carbono orgânico. O húmus favorece a retenção de nutrientes e água no solo, além de melhorar sua estrutura e microbiologia. Todos ganham com essa queda da serapilheira: ganha a floresta que crescerá mais, ganham os microrganismos, ganha o solo e ganha o meio ambiente. Ganha também o plantador de florestas, que terá maior produção e terá seu patrimônio solo mais protegido

É definitivamente fantástico o que passa a ocorrer durante o processo de decomposição da serapilheira. Lembrar que a floresta estará sempre depositando novas folhas, novos ramos e novas cascas. As raízes, que são inteligentes, logo percebem a nova fonte de umidade e de alimentos. Raízes finas, com menos de 3 mm de espessura, começam a crescer na superfície do solo de forma absolutamente incrível. Em estudos para se medir raízes finas, tem-se descoberto que um hectare de área de florestas de eucaliptos chega a ter entre 500 a 4000 kg de raízes finas em base seca. A maioria se situa nos primeiros 10 cm de

profundidade do solo e quase todas até 20 a 30 cm de profundidade. Quando transformamos esses pesos de raízes finas em comprimento de raízes, chegamos a valores entre 20 a 50 km de raízes finas por hectare, uma rede absolutamente inacreditável. Há os que medem a densidade de raízes finas por centímetro cúbico de solo. Os valores variam entre 0,5 a 1,5 mg de raízes finas por cm^3 de solo, sendo os valores maiores para a superfície do solo. A maior parte das raízes finas tem menos que 1 mm de diâmetro. Quanto mais arenosos os solos, maior é a sua formação. Isso porque elas buscam não apenas os nutrientes, mas a umidade da serapilheira em decomposição. Solos arenosos retêm pouca água, mas a matéria orgânica da serapilheira é quase sempre úmida. Se não houver umidade na manta, a taxa de decomposição é muito baixa. Isso ocorre em regiões com altos períodos de déficit hídrico. Por outro lado, os solos arenosos possuem baixa densidade, o que favorece a formação dessas delgadas e finas raízes.

A camada orgânica em decomposição na superfície do solo é uma das principais fontes de água, carbono orgânico e nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) para essas raízes finas, especialmente em solos arenosos pobres. Já em solos argilosos, que retêm mais água e são mais densos, as raízes finas se distribuem melhor ao longo das camadas do solo. Por outro lado, em solos densos, (densidades acima de 1,35 g/cm^3), as raízes finas têm muita dificuldade para se desenvolver.

Mas essa beleza da natureza ainda não é toda. O ambiente favorece o desenvolvimento de fungos e outros organismos, alguns muito amigos das árvores dos eucaliptos, como as micorrizas. Esses fungos vivem uma espécie de simbiose com as raízes dos eucaliptos, uns ajudando aos outros. As raízes ajudam os fungos com sua umidade e alguns nutrientes e os fungos oferecem em troca principalmente o fósforo. Os corpos de frutificação das micorrizas são visíveis nos povoamentos de eucaliptos. Aparecem como bolotas marrons que ao serem mexidas com força liberam os esporos ("sementes dos fungos").

Raízes finas e corpos de frutificação de micorrizas

Vejam amigos, que só a partir dos 3 a 4 anos é que temos realmente a melhor das situações nesse sistema, onde a decomposição da matéria orgânica está acentuada, o desenvolvimento de raízes finas atinge seu auge e a formação de micorrizas consegue ser ótima. Logo, é a partir daí que temos otimizadas as condições para retorno dos nutrientes às árvores pelo processo de ciclagem. Significa então que é a partir dessa idade que as florestas podem recuperar grande parte de seus nutrientes pela decomposição de suas partes que caíram ao solo. Isso funciona então como um moto-contínuo, as florestas começam a depender de seus próprios detritos. Infelizmente, temos no Brasil, um sistema de manejo silvicultural que privilegia rotações curtas (6 a 7 anos) e espaçamentos apertados (entre 2X2 m e 3X2 m). Há muitos que cometem infanticídio com suas árvores bebês, cortando-as com 4 a 6 anos. Perdemos assim, muito dessa fantástica interação biológica e que a natureza nos presenteia. Exatamente a partir dos 4 - 5 anos, quando mais a serapilheira está aumentando por aumentos sucessivos da queda de ramos e folhas e está se decompondo ao máximo, e quando as árvores começam a crescer menos por falta de comida no solo, é que acelera-se o processo de liberação de nutrientes pela decomposição dessa serapilheira. Com isso, nova fonte de alimentos é dada às árvores. Temos que saber aproveitar mais essa vantagem oferecida pela natureza.

Podem argumentar os que cortam cedo as suas florestas, que ao cortá-la podem deixar seus resíduos e novo ciclo de decomposição se inicia. Evidentemente isso acontece, mas a exposição do solo à chuva e ao sol, mais os impactos da colheita florestal, acabam por prejudicar a

saúde do ecossistema. A pressa em colher cedo a floresta tem muito de razões econômicas (entradas antecipadas no fluxo de caixa), e muitas vezes, isso é feito por falta de madeira a suprir nas empresas. Entretanto, sob o ponto de vista ambiental, rotações mais longas a partir de espaçamentos mais abertos (3x3 m ; 3,5x3 m), além de oferecerem madeiras de maior diâmetro na colheita, oferecem maior equilíbrio ambiental e a chance de melhor utilizar os nutrientes liberados pela decomposição da serapilheira. Isso, sem contar o menor custo de implantação, com menores quantidades de mudas e de tratos culturais. Algo definitivamente a ser melhor avaliado pelos nossos plantadores de florestas de eucaliptos.

3. OS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DE BIOMASSA FLORESTAL

Conforme a floresta cresce, ela vai mudando a forma da árvore. A partir dos 4 - 5 anos, elas ficam altas e com pequena copa no topo das árvores. Elas continuam lançando folhas e galhos ao solo, acrescidos agora de quantidades crescentes de casca. Esses materiais que caem ao solo dependem muito da espécie de eucalipto, do clima e da evapo-transpiração. As plantas de eucalipto são muito sensíveis às altas temperaturas e aos déficites hídricos. Meses quentes e secos favorecem a perda de folhas, mesmo que haja água no solo. São nesses

meses que ocorre também com mais intensidade a queda de cascas (ritidoma).

E. urograndis 3 anos

E. urograndis 6 anos

Por essas, e muitas outras razões, é que variam tanto as medições realizadas por diferentes autores quanto às quantidades de massa orgânica que as florestas de eucalipto lançam ao solo. É função da idade, da espécie, das condições de clima e solo, dos aspectos silviculturas e genéticos envolvidos, etc. Sabemos que a floresta perde preferencialmente folhas, galhos e casca. Sabemos também que ela imobiliza carbono nas suas raízes, copa e tronco. Quanto mais velha e mais desenvolvida for a floresta plantada de eucalipto, maior é a participação do xilema na biomassa total da árvore. A madeira do xilema, formada em idades mais maduras, é também mais densa, pois o câmbio já aprendeu a formar células de paredes mais espessas. Significa que as rotações mais longas acabam levando à maior produção relativa de peso de madeira base biomassa total das árvores. Mesmo que o incremento anual esteja reduzindo-se em volume, pode ser que estejamos formando mais madeira nesse ano específico, em base peso.

São muito comuns os trabalhos na literatura procurando quantificar as proporções em peso dos diversos compartimentos de biomassa onde as florestas alocam seu carbono orgânico. A maioria deles se concentra na avaliação da biomassa aérea, mais fácil de ser medida. Entretanto, há alguns bons trabalhos medindo também o peso e a participação da biomassa das raízes. Dependendo da espécie e da qualidade da floresta, as raízes podem participar com 10 a 25% do peso total da biomassa florestal. Quando temos 2ª ou 3ª rotações, a planta

tem mais raízes devido à dimensão maior da cepa. Quando o ritmo de crescimento é pobre e as árvores possuem pequeno volume, a proporção de raízes é também maior. As florestas bem produtivas e com árvores performantes possuem entre 9 a 13% do peso da biomassa total como raízes. Essas raízes acumulam também nutrientes. Elas concentram alguns nutrientes como reserva em suas células de parênquima, além de ser por elas que os nutrientes penetram nas plantas. Para absorver nutrientes do solo, elas precisam de concentrações elevadas desses nutrientes na sua solução, para causar um diferencial de pressão osmótica em relação ao solo. Isso facilita a absorção de nutrientes.

O manejo das raízes das plantações é uma das grandes indagações de qualquer plantador de florestas. Muitos fazendeiros que plantam florestas de eucalipto sempre questionam sobre as cepas remanescentes que ficam no solo após a colheita da floresta. Em geral, a grande reclamação é contra as cepas altas, que atrapalham outros cultivos subsequentes, inclusive na reforma da plantação de eucalipto, ou de outras culturas. Isso acaba levando-os a praticar uma caríssima operação de destoca, que além de agressiva ao solo pelo uso de máquinas pesadas, agride o ecossistema e leva embora nutrientes com os tocos.

Cepas altas e gerando necessidade de cara operação de destoca

As raízes possuem muitos nutrientes em sua composição e devem ser deixadas para decomposição no solo. O que o cortador de árvores precisa urgente aprender a fazer é cortar as árvore o mais baixo possível em relação ao solo, entre 5 a 10 cm. Com isso, a raiz não atrapalhará nas operações agrícolas e florestais seguintes e a cepa terá capacidade regenerativa para brotar, se a opção for uma condução da brotação. Cepas altas são transtornos freqüentes aos agricultores, que

por essa razão costumam dizer que os eucaliptos "estragam o seu solo". Longe disso, quem estraga o solo é quem corta mal as árvores, pois além de altas as cepas, perde-se muita madeira que fica nas cepas sem ser colhida. Lembrem-se que exatamente na base dá árvore é que está o seu maior diâmetro e qualquer 1 cm deixado na cepa sem necessidade, é um bom disco de madeira que se perde. Perdas de madeira por essa razão atingem de 1 a 3% da madeira total do povoamento, pasmem!

Cepa apodrecendo no solo

Admitamos uma floresta de bom ritmo de crescimento de um clone comercial de *Eucalyptus*. Temos então, suponhamos, cerca de 12% de raízes, mais 8% de casca, totalizando 20% do peso da biomassa seca total da floresta nesses dois compartimentos. Folhas representam pouco, cerca de 2 a 5%, dependendo da espécie e do espaçamento, porém a copa é em geral reduzida em dimensões. Os galhos de florestas plantadas são finos, mas contando-se o ponteiro da árvore que é fino também e com muitos nós de galhos, a proporção de galhos chega a representar entre 4 a 8% da biomassa total. Quando a árvore ainda é bem jovem e muito folhuda, a copa chega a representar cerca de 20% do peso da biomassa total. Isso acontece até os 2 anos de idade da floresta. Quanto maior a idade, mais tronco e xilema ela possuirá, já vimos isso. Aos 2 a 3 anos a madeira do tronco representa apenas 50 - 55%. Já aos 7 anos passa a ser cerca de 70 - 75%. Com certeza, aos 9 já passa a quase 80%, pois as proporções relativas de casca, galhos e raízes decrescerá, e o peso total de biomassa aumentará. Evidentemente, tudo isso depende de uma série de fatores como espécie, clone, genótipo, espaçamento, cuidados silviculturais, forma das

árvores, adaptação genótipo / ambiente e estratégias de manejo florestal.

A título de exercício matemático, vamos colocar três situações hipotéticas para um corte de uma floresta de eucalipto com 7 anos de idade:

Situação A: povoamento de incremento anual pobre, com 20 m^3 de madeira sem casca /ha.ano , tendo 18% raízes, 12% casca, 10% folhas mais ramos, sobrando 60% do peso da biomassa total como sendo xilema de tronco. Densidade básica da madeira de 0,55 g/cm^3.

Situação B: povoamento de incremento anual médio, com 35 m^3 de madeira sem casca /ha.ano , tendo 15% raízes, 10% casca, 8% folhas mais ramos, sobrando 67% do peso da biomassa total como sendo xilema de tronco. Densidade básica da madeira de 0,52 g/cm^3.

Situação C: povoamento de incremento anual excelente, com 50 m^3 de madeira sem casca /ha.ano , tendo 12% raízes, 8% casca, 6% folhas mais ramos, sobrando 74% do peso da biomassa total como sendo xilema de tronco. Densidade básica da madeira de 0,50 g/cm^3.

Observar uma tendência comum, que é a ligeira queda da densidade básica para povoamentos que cresçam mais e tenham maior produtividade volumétrica. Isso não é uma realidade absoluta, pois há muitos clones produtivos e com mais altas densidades básicas, mas a tendência normal é queda de densidade para ritmos crescentes de produção.

Temos então:

Situação aos 7 anos	Crescimento Pobre	Crescimento Médio	Crescimento Excelente
IMA sem casca (m^3/ha.ano)	20	35	50
IMA sem casca (t secas/ha.ano)	11	18,2	25
Produção de madeira aos 7 anos (m^3/ha)	140	245	350
Produção de madeira aos 7 anos (t secas/ha)	77	127,4	175
Proporção média de madeira de tronco (%)	60	67	74
Produção total de biomassa aos 7 anos (t secas/ha)	128,3	190,1	236,5
Distribuição da biomassa nos compartimentos da floresta (t secas/ha)			
▪ Raízes	23,1 (18%)	28,5 (15%)	28,4 (12%)
▪ Casca	15,4 (12%)	19,0 (10%)	18,9 (8%)
▪ Copas (folhas e ramos)	12,8 (10%)	15,2 (8%)	14,2 (6%)
▪ Madeira de tronco	77 (60%)	127,4 (67%)	175 (74%)

É muito fácil se perceber a maior eficiência da floresta com ritmo de crescimento excelente. Praticamente com a mesma quantidade em peso de raízes, copa e casca da floresta de médio incremento, ela produziu muito mais madeira. Essa é uma regra geral: as florestas menos produtivas acabam deslocando carbono para as raízes, copas e casca.

Vamos agora, continuar esses cálculos matemáticos e estender o ciclo das florestas média e excelente por mais 2 anos. A colheita agora se daria aos 9 anos. Como nessa situação o incremento corrente anual deve estar menor que o incremento médio anual, os ritmos de crescimento médios deverão ser ligeiramente menores na média dos 9

anos. Entretanto, as proporções de casca, folhas, ramos, raízes deve diminuir um pouco. A densidade básica da madeira deve também aumentar um pouco. Vamos então considerar:

Situação B' : incremento médio anual de 31 m^3 de madeira sem casca por ha.ano , tendo 13% raízes, 9% casca, 7% folhas mais ramos, sobrando 71% do peso da biomassa total como sendo xilema de tronco. Densidade básica da madeira de 0,56 g/cm^3.

Situação C' : incremento médio anual de 44 m^3 de madeira sem casca por ha.ano , tendo 11% raízes, 7% casca, 5% folhas mais ramos, sobrando 77% do peso da biomassa total como sendo xilema de tronco. Densidade básica da madeira de 0,53 g/cm^3.

Situação aos 9 anos	Crescimento Médio	Crescimento Excelente
IMA sem casca (m^3/ha.ano)	31	44
IMA sem casca (t secas/ha.ano)	17,4	23,3
Produção de madeira aos 9 anos (m^3/ha)	279	396
Produção de madeira aos 9 anos (t secas/ha)	156,6	209,7
Proporção média de madeira de tronco (%)	71	77
Produção total de biomassa aos 9 anos (t secas/ha)	220,6	272,3
Distribuição da biomassa nos compartimentos da floresta (t secas/ha)		
▪ Raízes	28,7 (13%)	29,9 (11%)
▪ Casca	19,8 (9%)	19,1 (7%)
▪ Copas (folhas e ramos)	15,4 (7%)	13,6 (5%)
▪ Madeira de tronco	156,7 (71%)	209,7 (77%)

Os resultados numéricos das duas tabelas nos remetem a algumas reflexões, que devem estar sempre presentes em nossa vida florestal, quando somos responsáveis pelas nossas florestas plantadas de eucaliptos.

Como alcançar produtividades tão altas por hectare? Árvores com cerca de 0,3 a 0,4 m^3 cada uma? Tudo isso é factível, precisamos apenas encontrar o manejo adequado e os genomas corretos para as nossas condições.

Tanto as florestas de média como as de excelente produtividade acabam por ter quantidades parecidas de raízes, casca e copas. Quando deixamos a floresta crescendo por mais dois anos (de 7 para 9 anos de tempo de rotação), a floresta aumentou muito pouco a sua quantidade de copa, raízes e casca. O resultado será uma boa produção de madeira e de uma madeira um pouco mais densa. Daí o aumento na produção de biomassa xilema de tronco, mesmo com um menor incremento médio anual da floresta. Sempre avaliar essas situações, pois em rotações mais longas poderá haver maior produção de madeira, maior taxa de retorno financeiro, menor impacto no solo e melhor aproveitamento e eficiência na ciclagem de nutrientes.

Na seção de referências bibliográficas estão apresentados inúmeros trabalhos realizados sobre quantificações de biomassas de plantações de eucaliptos. Os resultados variam bastante, muito em função da produtividade das florestas, espécies, localidades, espaçamentos e idade fisiológica das árvores.

4. OS FLUXOS DE BIOELEMENTOS EM ECOSSISTEMAS FLORESTAIS

Para se conservar a produtividade do ecossistema da floresta plantada é muito importante se conhecer a ecologia dos ciclos que ali ocorrem. Paralelamente à presença das árvores e dos outros organismos, ocorrem dois ciclos muito importantes para serem

monitorados e entendidos: o ciclo das águas e o ciclo dos bioelementos nutrientes. Quando manejamos mal nossas florestas, estaremos agredindo esses ciclos e colaborando para uma rápida exaustão do ecossistema.

Apesar das constantes auto-valorizações feitas por muitos dos plantadores de florestas de eucalipto, intitulando-se como grandes defensores do manejo florestal visando à sustentabilidade, há ainda um longo caminho para se atingir esse "status". Há etapas na produção das florestas que são muito impactantes, principalmente as etapas de ponta: preparo do solo e plantio e depois a colheita. Durante a fase de crescimento e maturação da floresta, estabelece-se um equilíbrio muito interessante e de certa forma ecologicamente favorável. Por exemplo, a floresta plantada distribui melhor a água da chuva, retendo-a mais no sistema, evitando as altas taxas de deflúvio como em solos pouco cobertos, como as pastagens. A floresta plantada colabora também com a ciclagem dos nutrientes, retirando-os do solo e depois devolvendo parte deles na forma de restos vegetais.

Já quando vamos plantar a floresta, temos, por exemplo, ações impactantes, como o preparo do solo, que permite que quantidades apreciáveis de solo sejam levadas pelas chuvas e depositadas em outros lugares. Também, na colheita, pelo corte raso da área, o impacto é grande. O solo fica exposto ao sol e à chuva. Com isso, ele se resseca e as enxurradas removem partículas importantes de solo. Os sedimentos correm morro abaixo e pelas estradas. Basta olhar a cor dos cursos d'água para entender a erosão que pode estar ocorrendo.

Atualmente, queremos dar sustentabilidade às operações florestais. Isso significa que queremos conservar o solo e a água, e também preservar os minerais e a biodiversidade.

Nesse item, vamos falar um pouco sobre os dois ciclos mencionados: o das águas e o dos bioelementos nutrientes.

CICLO DA ÁGUA

A água vem para a floresta plantada basicamente pela chuva. São pouquíssimos os casos de irrigação e quando ela ocorre é pouca e mais no momento do plantio das mudas. Apesar de exemplos interessantes de irrigação de florestas até mesmo com efluentes industriais, esse item ainda evoluiu muito pouco.

A água de chuva cai na floresta. Parte é interceptada pela copa e sequer atinge o solo. Quando a chuva acabar, as plantas molhadas secam e a água evapora para a atmosfera de novo. Outra parte, a mais importante atinge o solo através da copa ou escorrendo pelas árvores. Quando ela chega ao solo, ela tem dois caminhos a seguir: deflúvio ou escoamento superficial e penetração no solo. Mesmo para a água que penetra no solo não há garantias de que ela permanecerá nele. Ela pode encontrar mais abaixo uma camada de impedimento e migrar horizontalmente para fora da área em questão através do movimento do lençol freático. Já a água que penetrou e ficou no solo ela pode sofrer dois fenômenos principais: evaporação e absorção pelas árvores e outros vegetais do sub-bosque. Com isso, a água sobe do solo às folhas e é transpirada à atmosfera. Ao duplo fenômeno de evaporação do solo e transpiração pelas plantas, denomina-se evapo-transpiração. Ela é importante para se entender o consumo de água da floresta e varia conforme o tipo de solo, as condições climáticas e a espécie plantada. As florestas de eucalipto demandam evapo-transpirações de 800 a 1200 mm de água por ano. Por isso, a importância de se reter o máximo possível de água no solo florestal em regiões onde chove pouco. Temos que impedir que a água vá embora da floresta, ou por percolação, ou enxurradas ou lixiviação pelo lençol freático.

Água fugindo da área florestal através de um sulco de plantio

CICLO DOS BIOELEMENTOS MINERAIS

Chamamos de bioelementos nutrientes ou minerais a todos os elementos químicos da matéria orgânica, exceto carbono, hidrogênio e oxigênio. Esses últimos compõem a matéria orgânica fotoassimilada. Nem todos os bioelementos minerais podem ser considerados nutrientes. Eles podem não ser alimento ou nem serem importantes para a fisiologia das plantas. É o caso por exemplo do cloreto e do sódio. Entretanto, como eles existem no solo, e não são de alta toxicidade aos eucaliptos, as plantas absorvem algo deles para seu interior. Com isso, também eles participam desse ciclo.

Em todos os ecossistemas florestais existem as entradas (novas disponibilizações) e as saídas (retiradas) de nutrientes. O ecossistema, com isso, pode-se enriquecer ou empobrecer em todos ou em alguns desses elementos minerais.

Uma importante disponibilização de nutrientes no solo é através do intemperismo, ou decomposição da rocha-mãe do solo. Esse é um processo muito lento. Por isso, se o homem gastar rapidamente pelo mau manejo o que está disponível hoje no solo, novas liberações por intemperismo tomarão dezenas ou centenas de anos. Isso se houver condições favoráveis para que aconteça .

Outras formas de entrada de nutrientes são:

- Através da poeira que cai na área, que pode ser poeira química ou de solo fino levada pelo vento;
- Através da água de chuva que não apenas arrasta elementos químicos presentes no ar, como também lava as árvores e arrasta químicos minerais de novo ao solo;
- Através da fixação de nitrogênio por leguminosas naturais existentes no sub-bosque, ou plantadas especialmente para essa finalidade (ex: consórcio florestal de eucaliptos e de acácias);
- Através da fixação e disponibilização do fósforo pelas micorrizas;
- Através da adubação mineral, orgânica ou feita com resíduos industriais.

As plantas encontram esses nutrientes principalmente através das raízes. À medida que a planta cresce, a raiz vai também percorrendo o solo na busca dos nutrientes. Inicialmente, ela não é muito seletiva , vai crescendo conforme encontra mais facilidade e achando os nutrientes no seu trajeto. Com o uso desses nutrientes, eles começam a faltar e a planta percebe isso. Estabelece-se um gradiente de concentração desses elementos na solução da água do solo. A raiz entende disso, e caminha na busca de áreas mais úmidas e com mais nutrientes solubilizados. Nesse momento, os ciclos da água e dos bioelementos minerais ocorrem interativamente. Se faltar água no solo, a planta não conseguirá absorver nutrientes, mesmo que eles existam presentes. Se houver muito pouca água no solo, a concentração do solo pode ficar tão alta nesses elementos, que a pressão osmótica se inverte. Ao invés da concentração de nutrientes nas raízes ser maior que a concentração da solução de solo, ocorre o oposto. Com isso, possibilita a migração de água de dentro da planta para o solo. A planta tem então que se defender para não perder água para o solo.

Outra forma importante de novas disponibilizações de nutrientes no solo é a que ocorre pela ciclagem dos nutrientes. Os restos orgânicos que a planta joga ao solo (serapilheira ou "litter") se decompõem e os bioelementos são de novo disponibilizados ao solo. É enganoso acreditar que todos os nutrientes presentes serão reaproveitados pela floresta.

Sempre ocorrem perdas e imobilizações e elas podem ser significativas. Tudo depende das movimentações das águas das chuvas, movimento do lençol freático, volatilização pela incidência direta do sol e aquecimento da serapilheira, etc. Quem já não viu a cor escura de uma enxurrada, quase negra, que sai de uma floresta de eucalipto em dias de chuva fraca. Significa, nada mais nada menos, que carbono orgânico semi-decomposto e bioelementos nutrientes estão sendo levados embora pela água de chuva. Chama-se a isso de exportação de nutrientes pela água de chuva ou pelo deflúvio.

Também participam dessa ciclagem, as diversas vegetações complementares do sub-bosque. Quando elas morrem, abafadas pela floresta de eucalipto, elas passam a se decompor também e a liberar nutrientes pelo processo de ciclagem. Da mesma forma, as raízes e as árvores dominadas mortas. Ou ainda, as que caem por ação dos ventos. Enfim, o sistema é altamente dinâmico e com múltiplas entradas e com múltiplas saídas.

Falando-se em saídas de nutrientes, as principais são:

- Exportação com a colheita da floresta, quando se removem minerais com a madeira, com a casca se ela for tirada também, ou com toda a parte aérea (que ocorre quando se retiram casca e copa como biomassas energéticas).
- Através do escoamento das águas de chuva;
- Pela erosão e perdas de sedimentos (argila e material orgânico em humificação);
- Através das queimadas naturais ou intencionais.

O fogo mineraliza rapidamente a matéria orgânica vegetal. O carbono, o hidrogênio e o oxigênio se desprendem para a atmosfera. Parte do nitrogênio e fósforo também. As cinzas minerais ficam sobre o solo. Uma parte delas é absorvida pelo solo, mas uma parte importante é levada para fora da área pelas enxurradas da primeira chuva forte que cair. A água ajuda que sedimentos, carbono orgânico e elementos minerais nutritivos mudem de posição, entrando ou saindo da floresta.

Entendidos esses fluxos de água e de nutrientes, podemos melhor organizar nossas operações florestais para evitar desperdícios de água ou de nutrientes do solo. Quando fazemos uma colheita em condições inadequadas, criamos uma confusão biológica na floresta. Perdemos água, perdemos nutrientes, compactamos o solo, provocamos arraste de sedimentos, perdemos nitrogênio por volatilização, etc. A natureza é sábia, mas não é milagrosa. Se não a ajudarmos a conservar o solo, a água, a biodiversidade e os elementos nutritivos do solo, estaremos condenando esse sítio florestal à exaustão rápida. Muitas vezes, nossos florestais, incentivados pelas aulas de administração e de gestão, ficam com o foco apenas nos custos operacionais do momento presente. Esquecem-se de colocar uma visão de mais longo prazo. Com isso, até economizam dinheiro hoje, mas gastam as poupanças da natureza e deixarão uma dívida aos que usarem essas áreas no futuro. As gerações futuras é que pagarão as contas: as árvores, os bichos e os humanos.

Finalmente, existe ainda mais um ciclo importante de bioelementos no ecossistema, que é o chamado ciclo bioquímico. Consiste na translocação de nutrientes no interior da planta, de tecidos mais velhos para tecidos mais novos. Conforme a planta vai crescendo e formando novos ramos e novas folhas, ela vai necessitando de mais nutrientes. Se ela fosse engenheirada de forma pouco inteligente, ela apenas buscaria elementos novos no solo. Só que a sabedoria da natureza fez com que seu metabolismo busque também elementos em órgãos vivos mais velhos e que serão logo descartados, como folhas, ramos, flores e frutos. Há elementos de muita mobilidade na seiva dentro da planta, como o fósforo, o potássio e o nitrogênio. Há outros mais lentos e fixos, como o cálcio e o magnésio, que acabam ficando mais nos restos vegetais que morrem e caem ao solo. Com isso, concentram-se na serapilheira.

Toda vez que tivermos sintomas de deficiências nutricionais de elementos bem móveis, eles aparecem primeiro nas folhas velhas. Se os sintomas começarem a aparecer também em folhas e ramos novos é porque o solo realmente está muito carente neles. A planta não está

encontrando comida no solo e apesar de querer usar o que tem em seu corpo, a quantidade que possui é pequena. A maneira de se corrigir isso é pela adubação.

Lembrar também que os ciclos da água, dos bioelementos minerais e o ciclo bioquímico ocorrem simultaneamente e um interfere no outro. Por exemplo: uma situação de déficit hídrico acaba interferindo na absorção e translocação de nutrientes, na decomposição da serapilheira e na morte de raízes finas e de folhas e ramos. Isso tudo sem falar na micro-vida do solo que tem a missão de decompor a serapilheira. Faltando água ela morre e a manta orgânica não vai conseguir liberar seus nutrientes para ciclagem.

5. ACÚMULO DE BIOELEMENTOS NUTRIENTES NAS DIFERENTES PARTES DAS ÁRVORES

Conforme as árvores dos eucaliptos desempenham suas funções vitais, elas movimentam e armazenam os diferentes bioelementos em suas partes. Tanto a quantidade estocada, como a concentração desses elementos, variam nesses compartimentos da árvore. Por exemplo, as folhas são ricas em nitrogênio, as cascas em cálcio, a madeira em potássio, os ramos em cálcio e potássio, as raízes em nitrogênio também, etc.

Existe muita literatura publicada no Brasil e no exterior sobre onde a planta acumula e guarda seus nutrientes. Apesar das quantidades desses nutrientes variarem bastante em função da espécie, idade, região, época do ano, etc., a tendência de se guardar mais de um ou de outro elemento em um determinado compartimento é relativamente a mesma. Por exemplo, no caso do nitrogênio: independentemente de todos os fatores que determinam a acumulação, são as folhas que o possuem em maior concentração. Elas possuem entre 30 a 35% de todo o nitrogênio das árvores. Nas folhas, encontram-se entre 80 a 200 kg

de N por hectare, para pesos totais de biomassa seca de 120 a 250 toneladas na mesma área. A concentração de N nas folhas varia de 1 a 2,8%, sendo um dos nutrientes que aparece em maior concentração dentre todos para quaisquer das regiões da árvore. Já as cascas são riquíssimas em cálcio (concentrações entre 0,8 a 3,5%). Elas armazenam cerca de 45 a 55% de todo o cálcio da planta. No caso do potássio, as maiores acumulações estão na madeira (50 a 60%) e na casca (15 a 20%). Significa que somente entre madeira e casca (tronco) temos entre 70 a 85% de todo o cálcio e de todo o potássio das árvores da floresta. O magnésio também ocorre em grande acúmulo na madeira (40 – 45%) e na casca (25 – 30%). O fósforo está também bastante acumulado na madeira (50 a 60%). Em resumo, ao se colher tronco (madeira e casca) exportamos a maioria dos macronutrientes da floresta.

De uma forma bastante genérica, podemos condensar os inúmeros trabalhos da literatura em dois quadros que resumem as concentrações e as quantidades desses bioelementos nutrientes nas diferentes partes das árvores:

Concentração (em %) de bioelementos nutrientes em diferentes partes das árvores de *Eucalyptus*

	Nitrogênio	Potássio	Cálcio	Magnésio	Fósforo
Folhas	1,0 – 2,8	0,5 – 1,2	0,4 – 1,0	0,15 – 0,35	0,1 – 0,25
Casca	0,15 – 0,35	0,3 – 0,8	0,8 – 3,5	0,15 – 0,4	0,02 – 0,10
Madeira	0,08 – 0,25	0,05 – 0,20	0,05 – 0,25	0,01 – 0,06	0,01 – 0,05
Raízes	0,10 – 0,25	0,08 – 0,15	0,08 – 0,15	0,08 – 0,15	0,01 – 0,02
Galhos	0,15 – 0,30	0,2 – 0,5	0,35 – 0,8	0,1 – 0,25	0,02 – 0,05

Acúmulo de bioelementos nutrientes (em kg/hectare) em diferentes partes das árvores de florestas de *Eucalyptus*

	Nitrogênio	Potássio	Cálcio	Magnésio	Fósforo
Folhas	80 - 200	30 - 100	25 - 45	10 - 20	5 - 10
Casca	20 - 40	30 - 120	150 - 400	25 - 45	5 - 12
Madeira	100 - 250	150 - 400	60 - 250	30 - 80	10 - 40
Raízes	25 - 80	15 - 35	15 - 35	15 - 35	1 - 4
Galhos	10 - 30	25 - 75	30 - 65	10 - 20	2 - 8

Desses dois quadros é possível se concluir que os bioelementos minerais se acumulam nas árvores de eucaliptos e que os que mais se acumulam são: Ca > N = K > Mg > P

Apesar das variações em concentrações não serem tão diferentes, as quantidades por hectare já se distanciam muito mais, em função das diferentes proporções dessas partes das árvores e das diferentes produtividades entre os povoamentos citados na literatura e tomados para as obtenções dos dados. Há também na literatura muitas espécies analisadas pelos diferentes autores como: *E.grandis, E.saligna, E.dunnii, E.nitens, E.globulus, E.maidenii, E.torelliana, E.urophylla, E.pellita, E.microcorys, E.urograndis, E.camaldulensis, E.paniculata, E.deanei*, *E.tereticornis,* etc.

A análise dos dados dos quadros resumo mostram que as raízes e os galhos são menos representativos no acúmulo dos nutrientes. Folhas, casca e madeira praticamente guardam a maioria dos nutrientes das árvores.

Mais uma vez, de uma maneira genérica e ampla, pode-se estimar em médias gerais, quais as percentagens de cada nutriente que se acumulam nos diferentes compartimentos da floresta.

Teríamos então as seguintes percentagens de acúmulo de nutrientes por compartimento de biomassa florestal em *Eucalyptus*.

Percentuais de nutrientes que se acumulam em cada compartimento da floresta, em relação ao total desses nutrientes na floresta

	Nitrogênio	Potássio	Cálcio	Magnésio	Fósforo
Folhas	30 – 35 %	12 – 15 %	5 – 7 %	4 – 6 %	12 – 18 %
Casca	5 – 9 %	15 – 20 %	45 – 55 %	25 - 30 %	16 – 20 %
Madeira	40 – 50 %	50 – 60 %	25 – 40 %	40 – 45 %	50 – 60 %
Raízes	8 – 12 %	5 – 7 %	4 - 6 %	12 – 18 %	4 – 5 %
Galhos	3 – 8%	8 – 12 %	6 – 9 %	10 – 12 %	8 – 10 %

6. A SERAPILHEIRA OU MANTA ORGÂNICA E A CICLAGEM DE BIOELEMENTOS NUTRIENTES

Quando nossa floresta plantada de eucaliptos começa a crescer, logo após o plantio, ela tem que vencer uma série de desafios: a disponibilidade ou não de água, a competição do mato, o ataque de predadores como formigas, cupins, besouros, grilos, etc. Há também outros fatores do clima como geadas, frio, insolação forte, e há também as ameaças de incêndios. Nesse sistema, estabelece-se logo uma competição, todos lutando por comida e água, às vezes escassas. A competição por nutrientes ocorre também com os microrganismos, que precisam de nitrogênio e fósforo para decomposição dos restos vegetais e da serapilheira. Nessa fase inicial, a demanda por nutrientes é muito grande: as copas estão em formação, mas longe de se tocarem umas às outras. Tampouco, as raízes estão competindo: há muito solo para elas crescerem e explorarem. Consequentemente, logo no início do plantio, as mudinhas não competem entre si por água e nutrientes. Elas competem isso sim, com o mato. Como elas precisam de muito nutriente, a resposta à adubação é muito grande nessa fase.

Conforme a espécie e seu ritmo de crescimento, logo no primeiro ou segundo ano, as copas se fecham e a competição por espaço fica

intensa. A demanda por nutrientes continua: agora a concorrência não é apenas com o mato, mas com suas colegas do povoamento. Nessa fase, ainda é possível se ter alguma boa resposta à fertilização. Por isso, muitos florestais adotam uma fertilização complementar mais tardia, entre 9 a 12 meses. Nesse momento de fechamento de copas, as plantas começam a soltar bastante folhas e galhos mais velhos. A competição acaba aniquilando os ramos e folhas inferiores, que começam gradativamente a cair no solo. É o início da ciclagem de nutrientes na floresta plantada. Isso quando a floresta foi plantada em um local virgem, que não havia antes sido plantado com eucaliptos. Se estivermos falando de uma reforma, a ciclagem de nutrientes já está ocorrendo desde o início do plantio, pois a serapilheira já existia da floresta anterior. Temos ainda a grande adição dos restos orgânicos da colheita, o que dá maior quantidade de material para decomposição.

Enganam-se aqueles que acham que basta deixar os resíduos da colheita e as folhas, cascas e galhos da serapilheira para que já se estabeleça uma boa ciclagem solo/planta/solo. Para que a planta consiga capturar de novo esses nutrientes, é preciso que a matéria orgânica se decomponha, ou se mineralize de novo. Isso para acontecer exige água e nutrientes também. Sem água e sem comida os fungos saprófitas e as bactérias mineralizadoras não conseguem se multiplicar, nem decompor a matéria orgânica. Além disso, como já vimos, a tarefa desses microrganismos não é nada fácil. Eles precisam desativar naturalmente os compostos tóxicos que os restos das colheitas possuem para a defesa quando eram plantas vivas. Outra dificuldade é decompor compostos difíceis de serem quimicamente modificados como a celulose e a lignina.

Conforme a floresta cresce, após o fechamento da copa, a competição por água e nutrientes passa a ser muito grande entre as árvores do povoamento. Nesse momento, já começam a serem liberados alguns nutrientes da manta orgânica, já que sua decomposição toma algo entre 1 a 3 anos. Por isso, quando temos restos de colheita no solo, as árvores já passarão a usufruir desses nutrientes a partir dos 2 anos de idade, quando querem deslanchar seu crescimento. Se não tivermos os restos de colheita, e somente a serapilheira de queda de folhas e ramos da floresta atual existir, então a ciclagem é bem menos eficaz até os 3 a 4 anos de idade da floresta. De uma maneira ou de outra, a ciclagem está sempre presente, mais cedo ou mais tarde, liberando mais ou menos nutrientes.

As árvores dos eucaliptos são grandes derrubadoras de matéria orgânica no solo. Eles lançam folhas, galhos, frutos, sementes, casca, etc. A casca começa a cair mais tarde, quando a árvore começa a dilatar mais o seu diâmetro, a partir dos 3 a 4 anos.

Quanto mais velha for a floresta, mais intensa é a ciclagem. Há momentos em que a maior parte dos nutrientes que a árvore absorve vêm de seus próprios restos decompostos.

Resumidamente, como já vimos: a partir dos 1 a 2 anos caem muitas folhas e galhos finos, a partir dos 3 a 4 começa a cair também casca. Estabelece-se então um fantástico processo de decomposição, liberação e absorção de nutrientes, um ciclo biológico maravilhoso. Alguns desses nutrientes são bastante reciclados, como o fósforo e o potássio, que são bastante móveis e muito demandados pelas plantas. Já o nitrogênio, ele é bastante exigido pelas árvores, mas ele tem alguns problemas. É muito volátil e pode se perder em parte. Outra parte do nitrogênio é consumida pelos microrganismos do solo que o consomem para decompor a matéria orgânica. A exigência por nitrogênio para essa decomposição é tamanha que só a manta orgânica não é suficiente para suprir toda a quantidade necessária de nitrogênio para a humificação dos restos orgânicos. Os microrganismos vão então em busca de outras fontes de nitrogênio, tais como restos de outras plantas como

leguminosas, e também dos adubos que foram depositados para as mudas de eucaliptos.

Muitos de nossos florestais acabaram provando estatisticamente que os restos de cultura atrasavam o crescimento das mudas, por isso, entenderam melhor não deixá-los sobre a terra após a colheita. Conclusões precipitadas baseadas apenas nas estatísticas e na visão dos cifrões, mas sem um entendimento do fenômeno e de como otimizá-lo. Acharam melhor tirar os restos vegetais do solo. Bastava afastar os mesmos da linha de plantio ou das covas, deixando-os um pouco longe das mudinhas. Eles naturalmente iriam se decompondo mais lentamente e depois de 1 a 3 anos, boa parte já estaria mineralizada e fornecendo nitrogênio e outros nutrientes ao ecossistema. Há que se ter então um adequado manejo e uma gestão dos resíduos florestais: não basta apenas largá-los no campo, como já dissemos.

O cálcio é um dos elementos que é mais reciclado, apesar dele não ser muito móvel e se fixar em tecidos difíceis de decompor como madeira, galhos e casca. Esses dois tipos de tecidos possuem altas relações C/N. Apesar de suas lentidões para decomposição e ciclagem, se eles forem mal manejados, logo deixaremos o cálcio ausente dos solos. Isso porque as árvores são grandes tomadoras de cálcio do solo. Elas são muita ávidas por cálcio.

A decomposição da serapilheira é alta e cresce com a idade do povoamento. Quando a árvore cresce, ela passa a depositar mais e mais material, agora bastante casca também. Essa deposição é maior nos meses de verão, onde as altas temperaturas e os eventuais períodos de

seca e sol forte provocam a queda de folhas e dos ramos de baixa eficiência.

A quantidade de serapilheira que se deposita anualmente varia então com a espécie, clima e déficit hídrico. Os inúmeros trabalhos que existem na literatura demonstram que as florestas plantadas de eucalipto depositam entre 1 a 12 toneladas de matéria seca de serapilheira ao ano para o solo. Nos primeiros dois anos, essa quantidade é mais baixa, entre 1 a 3 toneladas por ano. A partir dos 2 anos, passa a ocorrer forte competição pelo crescimento. As copas estão entrelaçadas uma às outras e muitos galhos velhos estão morrendo e caindo naturalmente por desrama natural. Nessas situações, a quantidade anual que se deposita atinge 4 a 7 toneladas secas por ano. Em povoamentos mais velhos, a partir dos 6 até 9 anos, chega-se a perder mais de 10 toneladas secas por ano. As perdas para a serapilheira nessas idades são basicamente: galhos velhos mortos e frutos secos (25 - 30%), cascas (10 – 15%) e folhas (55 – 65%).

Como o material depositado não se decompõe imediatamente, a manta orgânica se espessa e passa a ser uma espécie de mistura de materiais em diferentes fases de degradação. Isso porque possuem épocas de queda e taxas de decomposição diferentes. As folhas se decompõem mais rapidamente, mas galhos e cascas tomam mais tempo.

Quando se quantifica o peso de matéria orgânica na superfície do solo nessa manta, mais uma surpresa. As quantidades são enormes, entre 8 a 25 toneladas secas por hectare. Depende isso também da espécie, idade do povoamento, clima, umidade, riqueza mineral e velocidade de decomposição da serapilheira. A qualidade e a fertilidade do solo também afetam a taxa de decomposição: solos mais férteis, mais úmidos e arejados ajudam na decomposição. O maior teor de argila e de carbono orgânico na superfície do solo ajudam a reter mais água e com isso a mineralização da matéria orgânica é mais rápida. A umidade é sem dúvida alguma um dos principais fatores a ajudar na decomposição. Se ela for baixa, as folhas e os galhos duram mais sobre o solo. Por essa razão, nas estações chuvosas e com temperaturas mais altas, a taxa de decomposição é bem mais alta do que nos meses de inverno. A atividade

biológica é também muito mais intensa na serapilheira do que nos primeiros 10 cm de solo em sua profundidade.

Conforme os elementos nutrientes vão sendo liberados pela decomposição da matéria orgânica, as raízes finas dos eucaliptos estão por ali, ávidas para sugá-los de novo para dentro da planta. Ao mesmo tempo, continua a cair material para o solo das plantas, continuando a se manter a manta cobrindo o solo. Tudo isso fica dinâmico, úmido e com muita atividade microbiológica. Uma ciclagem definitivamente fantástica e em plena ação.

Já mencionamos que durante o processo de decomposição da matéria orgânica, os microrganismos competem pelo nitrogênio com as mudinhas recém plantadas. Isso acontece mais no início da decomposição das primeiras camadas de serapilheira lançadas pela floresta plantada, ou pela decomposição dos restos da colheita anterior na área. Conforme vai ocorrendo a ciclagem, mais folhas ricas em nitrogênio vão caindo ao solo, e a quantidade relativa de N na serapilheira aumentará. Aumenta então a reserva de N para os microrganismos que passam a ciclá-lo também entre seus corpinhos, já que também eles morrem e seus restos são decompostos. Os microrganismos sobreviventes passam a se beneficiar da ciclagem dos falecidos, uma dinâmica incrível. O aumento da quantidade de nitrogênio ocorre na massa microbiológica, mas depende da quantidade, da qualidade e da taxa de deposição da serapilheira. Com isso, a biomassa microbiológica do solo exerce função simultânea de catalisadora da decomposição da matéria orgânica e de fonte de nitrogênio também. Algo orquestrado de forma que poucos conseguiriam fazer igual.

Para povoamentos mais velhos, a partir dos 6 a 8 anos, a quantidade de serapilheira sobre o solo alcança entre 10 a 25 toneladas de matéria seca. Como as folhas se decompõem mais rapidamente, as cascas e galhos passam a aumentar sua porcentagem relativa na manta. Algumas árvores também tombam e viram serapilheira de maior porte.

Galhos e madeira possuem baixa decomposição devido altíssima relação C/N (entre 350 - 500). Apesar da casca ter relação C/N alta, ela não é tão alta como as dos galhos, ficando essa relação nas cascas entre 150 a 250. Por outro lado, a casca é um tecido protetor e de revestimento das árvores. Ela possui compostos difíceis de serem degradados, por essa razão. Alguns são tóxicos e outros são de difícil hidratação, como ceras e suberina. Por isso, ela também possui mais baixa degradabilidade em relação às folhas.

Duas importantes relações que podem ser acompanhadas para se verificar o potencial de decomposição e a taxa de decomposição da serapilheira são as relações C/N e C/P. Sabemos que as madeiras possuem altas relações C/N (350 - 500) e C/P (500 a 700). A casca tem esses valores menores (C/N ~150–250 ; C/P ~300-450). O material de mais fácil biodegradação são as folhas (C/N ~25-45 ; C/P ~ 250-300).

Conforme os microrganismos degradam a matéria orgânica, eles promovem grande liberação de carbono na forma de CO_2 pela sua respiração. Eles também incorporam parte de carbono nos seus corpinhos. Nos corpos de microrganismos teremos então carbono, nitrogênio e fósforo capturados da manta orgânica. Nas células dos microrganismos as relações C/N e C/P são de aproximadamente 10:1 e 100:1. Significa que esses valores estão muito próximos dos valores do húmus, o esterco final resultado da decomposição da matéria orgânica vegetal no solo.

A serapilheira tem valores muito variados de relações C/N e C/P. Isso pelas diferentes frações e estados de decomposição. Os valores de C/N estão entre 50 a 80 e de C/P entre 1000 a 1500. A relação C/P é

alta porque o fósforo é muito móvel na solução de solo. Ele é também rapidamente recolhido pelas raízes finas dos eucaliptos, que gostam e precisam dele. Tão logo ele é liberado, as raízes já os absorvem frente à sua fácil absorção e translocação.

A serapilheira que está diretamente em contato com o solo é a que está em mais avançada decomposição. Ela é a mais velha e a mais úmida. Nessa situação, a relação C/N estará entre 15 a 25.

Quando avaliamos a manta orgânica dos restos de colheita com descascamento no campo, onde galhos, folhas e cascas permanecem todos na área florestal, as cascas são componentes dominantes. Elas representam mais de 50% do total de resíduos. Para se degradar todo esse resíduo precisamos de N e P. Parte eles já possuem, mas pequena. Outra parte eles encontrarão na serapilheira que lá existe e que foi depositada pela floresta enquanto crescia. Mesmo assim haverá carência de N e P, que serão lentamente liberados até se restabelecer um equilíbrio. Eles dependerão, para sua degradação, da função acumuladora dessa serapilheira engordada pelo grande quantidade dos restos de colheita. Com a liberação gradual e lenta de N e P, e com a perda de CO_2 , essas relações C/N e C/P baixam gradualmente. Caso o solo seja rico em N e P, os microrganismos vão buscá-los no próprio solo e os imobilizarão em seus corpinhos até morrerem e serem também decompostos. Também na adubação das mudas do eucalipto os microrganismos buscarão nutrientes, competindo então com as mudinhas por essas comidas. Por essa razão, como já vimos antes, manter os restos de colheita um pouco afastados das mudas.

A grande sabedoria da natureza é que a casca e os galhos são ricos em lignina, um composto de difícil degradação. Por essa razão, a decomposição desses resíduos é lenta e a competição por N e P não chega a ser tão problemática. Fortuitamente, quando os restos da colheita atingirem uma taxa de decomposição mais acentuada, entre 18 a 36 meses após a colheita, esse é exatamente o momento em que as árvores da nova floresta estarão crescendo mais rápido e exigindo nutrientes como nunca para formar seus tecidos. A floresta aproveitará então muitos desses nutrientes liberados pela decomposição dos restos da colheita. A floresta estará também intensificando sua deposição de serapilheira visando aumentá-la de novo e recompô-la. Mais uma sabedoria da natureza a favor da floresta plantada de eucalipto.

Vamos agora entender numericamente o que acontece com a floresta plantada de alta produtividade de eucalipto. Vamos falar de nossa floresta exemplo, que cresce em média 40 m^3 de madeira sem casca por hectare por ano. Ela será colhida aos 7 anos, quando tiver uma produção de 280 m^3 de madeira. Com uma densidade básica de madeira de 0,5 g/cm^3 , o peso de madeira seca na colheita será de 140 toneladas. Admitindo que a madeira do tronco comercial represente 75% do peso total de biomassa da floresta, então o peso total de biomassa será de 185 toneladas secas por hectare.

Biomassa total.....	185 toneladas secas / hectare
Folhas (1,5 a 3 %)	2,8 a 5,5 toneladas secas/hectare
Galhos (4 a 6%)	7 a 11 toneladas secas /hectare
Casca (6 a 19%)	11 a 18 toneladas secas/hectare
Raízes (10 a 12%)	18 a 22 toneladas secas/hectare
Madeira comercial (75%)	140 toneladas secas /hectare

Se durante sua vida a nossa floresta exemplo jogou as seguintes quantidades de manta orgânica sobre o solo:

Até o 1º ano: 1,5 toneladas secas/hectare

Do 1º até 2º ano: 3 t/ha
Do 2º até 3º ano: 5 t/ha
Do 3º até 4º ano: 7 t/ha
Do 4º até 5º ano: 8 t/ha
Do 5º até 6º ano: 9 t/ha
Do 6º até 7º ano: 10 t/ha
Total de biomassa lançada ao solo ao longo dos 7 anos: 45 t/ha

Sendo:
55 a 65% de folhas ..... 25 a 30 t/ha
25 a 30% de galhos e frutos..... 11 a 13,5 t/ha
10 a 15% de cascas ..... 4,5 a 6,5 t/ha

Além disso, quando se corta a floresta, ficam também no solo as cepas das raízes , com mais 18 a 22 toneladas de matéria seca por hectare.

Voltando de novo aos cálculos para nossa floresta exemplo:

- Para uma produção total de 185 toneladas secas por hectare de biomassa, ela depositou nos 7 anos de crescimento cerca de 45 toneladas por hectare de serapilheira, ou seja, algo como 20 a 30% de seu peso final de biomassa na época da colheita.
- Nesse momento da colheita ela também poderá estar deixando mais 20 a 25 toneladas secas de restos de colheita (cascas, galhos e folhas), isso sem falar nas raízes que ficarão no solo de qualquer maneira.

Vejamos agora o que acontece nos anos de meio de rotação, do 4º para o quinto e do 5º para o 6º anos de crescimento:

- Admitir que o crescimento tenha sido respectivamente 55 e 50 m^3/ha.ano e as respectivas densidades básicas de 0,49 e 0,52 g/cm^3 para as madeiras crescidas nesses dois anos.

Idade da Floresta	4º até 5º ano	5º até 6º ano
Incremento corrente no ano (m^3/ha.ano)	55	50
Densidade básica da madeira formada nesse período (g/cm^3)	0,49	0,52
Incremento corrente no ano (t secas/ha.ano)	26,95	26,0
Madeira sobre biomassa total	72%	77%
Biomassa total adicionada no ano (t secas/ha.ano)	37,43	33,37
Deposição de biomassa no ano (t secas/ha.ano)	8	9
Relação Percentual Deposição/Biomassa total	21,4 %	26,6%
Relação Percentual Deposição/Biomassa de madeira comercial	29,7%	34,6%

Conclusivamente, podemos dizer que para se adicionar uma unidade de peso na sua biomassa total, a floresta deposita entre 0,2 a 0,3 unidades de peso como serapilheira. Por outro lado, para crescer uma unidade de peso de madeira, o principal produto da floresta, a mesma floresta deposita entre 0,3 a 0,35 unidades de peso de serapilheira.

Podemos interpretar esses dados sob duas óticas. Sob a ótica da produtividade, poder-se-ia dizer que a floresta plantada de eucalipto seria desperdiçadora, pois para fabricar 1 tonelada de produto final, joga ao solo como "desperdício" cerca de 0,3 a 0,35 toneladas na forma de serapilheira. Sob a ótica ambientalista, pode-se entender a floresta plantada como uma fantástica fábrica que busca reciclar seus resíduos, fechando seu ciclo e mantendo o ecossistema o mais balanceado e protegido possível. Os "desperdícios" (serapilheira) na verdade voltam ao solo para ajudar na necessária micro-vida e para devolver os nutrientes para fechamento de circuitos. Ao mesmo tempo, protege-se

o solo da erosão, retém-se mais umidade e todas as vantagens conhecidas da manta orgânica.

Foi por essa razão que falamos no início do capítulo, que do total de carbono recolhido pela fotossíntese, apenas uma fração menor acaba indo para ser fixado na madeira (cerca de 30 a 35%).

Voltemos agora à nossa floresta exemplo: com um total de 45 toneladas de serapilheira lançada ao solo em 7 anos de seu ciclo de desenvolvimento. São cerca de 6,43 toneladas secas de serapilheira lançada em média por ano ao solo. Isso sem contar com o que ficará depois como resíduos da colheita.

Total de biomassa lançada ao solo ao longo dos 7 anos da floresta exemplo: 45 t/ha (ou seja, 6,43 t secas de serapilheira por hectare por ano). Sendo que do total gerado e depositado nos 7 anos ficariam:

55 a 65% de folhas ..... 25 a 30 t/ha
25 a 30% de galhos e frutos..... 11 a 13,5 t/ha
10 a 15% de cascas ..... 4,5 a 6,5 t/ha

Serapilheira
10 a 20 cm

Serapilheira e solo com camada superficial enriquecida em carbono
(fonte: Barros, N.F. , 2005)

Vamos agora entender quanto de cada macronutriente os diversos componentes lançarão ao solo, primeiro ao longo de toda a rotação, depois uma média anual. As médias anuais não são as melhores, já que a floresta cresce com incrementos correntes anuais diferentes e também deposita diferentemente a serapilheira ao longo de sua idade. Mas para efeito de entender o que ocorre em média na floresta ela pode ser utilizada para finas didáticos.

Plantando uma floresta em área riquíssima em resíduos de colheita e de serapilheira acumulada

Quantidade de nutrientes que cairão no solo na floresta exemplo ao longo de sua rotação

Nutriente	FOLHAS			GALHOS			CASCA			TOTAL	GERAL
	% Nutriente	kg/ha em 7 anos	kg/ha.ano (Média)	% Nutriente	kg/ha em 7 anos	kg/ha.ano (Média)	% Nutriente	kg/ha em 7 anos	kg/ha.ano (Média)	kg/ha	kg/ha.ano (Média)
N	1,0-2,8	250-840 (m= 545)	77,9	0,15 – 0,3	16,5– 40,5 (m=28,5)	4,07	0,15-0,35	6,75-22,8 (m= 14,75)	2,11	588,25	84,1
P	0,1 – 0,25	25 – 75 (m= 50)	7,1	0,02-0,05	2,2-6,75 (m= 4,48)	0,64	0,02-0,10	1 – 6,5 (m= 3,75)	0,54	58,23	8,3
K	0,5 – 1,2	125 – 360 (m= 242)	34,6	0,2 – 0,5	22-67,5 (m=44,75)	6,4	0,3 - 0,8	13,5 – 52 (m=32,75)	4,68	320	45,7
Ca	0,4 – 1,0	100 – 250 (m= 175)	25	0,35-0,80	38,5-108 (m= 73,2)	10,5	0,8 – 3,5	36 - 227,5 (m= 131,8)	18,8	380	54,3
Mg	0,15 – 0,35	37,5 – 105 (m= 71,2)	10,2	0,10-0,25	11 - 33,75 (m= 22,8)	3,25	0,15-0,40	6,75 - 26 (m= 16,4)	2,34	110,38	15,8

(m= média aritmética dos dados extremos do intervalo)

As contribuições percentuais de cada um dos formadores da serapilheira em termos de deposição de cada tipo de nutriente passam a ser as seguintes nesse exemplo numérico calculado com dados médios da literatura:

	Percentuais		
	Folhas	**Galhos + Frutos**	**Casca**
N	92,6	4,8	2,6
P	85,9	7,7	6,4
K	75,8	14,0	10,2
Ca	46,0	19,3	34,7
Mg	64,5	20,6	14,9

Observar que as folhas são definitivamente as grandes fornecedoras de matéria seca e de nutrientes para a serapilheira. Elas enriquecem as camadas superiores dos solos em praticamente todos os nutrientes. Isso porque são delas as maiores contribuições em peso seco que cai ao solo das árvores. É fantástica a deposição total de N, Ca, K, Mg e P ao solo, nessa ordem de deposição. Além da grande quantidade de folhedo em massa seca, e consequentemente carbono, esse folhedo é muito rico em quase todos os elementos minerais que a planta necessita. As cascas não são grandes fornecedoras de nutrientes, exceto cálcio, porque começam a se soltar mais tarde (a partir dos 3 a 4 anos) na forma de ritidoma. Já os galhos, como era de se esperar, são mais pobres em nutrientes pela alta fração de madeira que eles contem. Mesmo assim, é importante a contribuição deles para a deposição de K, Ca e Mg.

Apesar de significativas as quantidades de nutrientes que são absorvidos pelas árvores e depois depositados ao longo do ciclo da floresta, as quantidades que ainda podem ser incorporadas ao solo com os restos da colheita são impressionantes. Teremos mais adiante um item especial para discutir esse balanço nutricional envolvendo solo, planta, serapilheira e resíduos da colheita. Um sistema notável de

transformações, mudanças, trocas e biologia. Nada melhor do que a nossa mãe natureza para organizar isso tudo.

Estamos sempre falando em manta orgânica, deposição de folhedo, etc. Acabamos nos esquecendo do que fica incorporado no solo com as raízes. Elas são de certa forma um banco de carbono e de nutrientes que, ao se colher a floresta, lá permanecem no solo, Se a floresta for conduzida a uma nova rotação, elas se manterão ativas e vivas. Se por outro lado, a floresta for reformada, as raízes serão sacrificadas e apodrecerão, liberando suas reservas para a nova geração de árvores. De forma geral, as raízes no momento da colheita representam cerca de 20 a 30 toneladas de matéria seca por hectare da floresta plantada de eucalipto. Elas contribuem com expressivas quantidades de minerais que restituem ao solo apesar de lentamente.

Acúmulo de nutrientes nas raízes em kg/hectare

	Nitrogênio	Potássio	Cálcio	Magnésio	Fósforo
Raízes	25 - 80	15 - 35	15 - 35	15 - 35	1 - 4

Matematicamente, também podemos estudar a taxa de decomposição da manta orgânica. A floresta plantada de boa produtividade deposita, por exemplo, cerca de 6 a 8 toneladas de serapilheira seca por hectare e por ano. Isso após seus dois primeiros anos de idade, quando a deposição por hectare não é tão grande pelo porte menor das plantas. Os inúmeros estudos sobre o peso da

serapilheira acumulada em plantações de eucalipto mostram que ela tem entre 10 a 20 toneladas de peso seco por hectare. Estimadamente, em função da deposição e do acúmulo, podemos dizer que demora entre 1,5 a 3 anos para que o material lançado ao solo seja decomposto, com uma taxa de decomposição anual de 30 a 45% do peso original. Essa taxa de decomposição varia conforme a proporção de folhas, galhos e casca na manta. Depende também da umidade e da riqueza química e microbiológica do solo. Entretanto, uma serapilheira não é formada apenas pela deposição de material orgânico das árvores dos eucaliptos. A vegetação do sub-bosque também colabora com ela, assim como as ervas daninhas que foram sacrificadas pelo uso dos herbicidas, as árvores dominadas, as que caíram com o vento, a vegetação que morreu abafada pelas árvores maiores, etc., etc.

Quando vamos reformar uma floresta, plantando outra floresta de eucalipto após a colheita de uma floresta prévia, podemos encontrar o terreno de diversas formas. O florestal às vezes remove só a madeira, deixando galhos, folhas, casca no campo. Outras vezes, ele precisa da casca, pois vai utilizá-la como biomassa energética. Com isso, lá se vai a casca e seu carbono e seus nutrientes. Outros mais gulosos, levam também a galharia, pois querem utilizá-la também como fonte de energia. Dessa forma, a quase totalidade da biomassa aérea da floresta acaba sendo retirada da área. Mais tarde, em outra seção, falaremos sobre exportação de nutrientes na colheita. Agora, estamos colocando algumas considerações sobre a manta orgânica, sua formação e os que contribuem para ela. Imaginem então que o reflorestador, ao colher sua floresta, tenha deixado as folhas, os galhos, os frutos e as cascas sobre o solo. Isso representa cerca de 15 a 25 toneladas secas desses chamados resíduos da colheita. Fabulosas quantidades de carbono e de nutrientes para serem incorporados no processo de ciclagem. Ainda, ao deixar as cepas, sem destocá-las, ficarão ainda mais 20 a 30 toneladas de material orgânico seco por hectare. Tudo isso para ser bio-convertido pela mãe natureza.

7. UTILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES LIBERADOS PELA MANTA ORGÂNICA

Acabamos de mostrar o grande potencial como fonte de carbono e de minerais para o solo que representam os restos orgânicos das próprias plantações de eucalipto. Entretanto, é ingenuidade acreditar que todo esse estoque de nutrientes possa ser reabsorvido integralmente pela floresta plantada. Uma parte desse estoque estará sempre na própria serapilheira em decomposição, ou nos corpos dos microrganismos da manta. Outra parte, quando liberada, pode ser incorporada e imobilizada pelo solo, fixando-se nas argilas. Finalmente, existe uma fração que pode não ser pequena e que é perdida pelo deflúvio das águas de chuva e outras formas de perdas.

Existem então muitas questões importantes a serem interpretadas, como por exemplo:

- quanto do carbono e dos nutrientes se perdem do sistema por lixiviação, percolação, volatilização, etc.?
- qual é a percentagem do carbono que cai como serapilheira que é incorporado ao solo para com isso aumentar o teor de carbono das camadas superficiais do solo?
- quanto desses nutrientes realmente trafegam via ciclagem entre solo, manta orgânica e planta?
- quanto a planta imobiliza de nutrientes e de carbono nos seus diversos compartimentos conforme cresce?
- quanto dos nutrientes ficarão retidos nas folhas, flores, raízes, casca, frutos, madeira do tronco, copa, etc.?

Sabemos que a planta ao ficar mais velha terá crescente a proporção de madeira em relação aos outros tecidos. Vimos que aos 2 a 3 anos a proporção de madeira era de 50 a 55% da biomassa total. Aos 7 anos, atingia cerca de 70 – 75% e aos 9 anos podia chegar a 80%. Logo, os pesos dos componentes casca, raízes, copa, não crescem muito em peso de biomassa a partir de um certo estágio de crescimento da

floresta. A fixação do carbono e a imobilização dos nutrientes pela árvore ocorrerá preferencialmente na madeira a partir dos 6 a 7 anos de idade da floresta. Por outro lado, a ciclagem dos nutrientes aumenta sobremaneira com o envelhecimento da floresta. Fácil imaginar que rotações mais longas são ecologicamente mais corretas.

O grande desafio do plantador de florestas é saber gerenciar esse ecossistema vivo e dinâmico, para melhor aproveitar os nutrientes e o carbono orgânico lançados ao solo. Se ele não se atentar para isso e for somente um usuário da madeira, com foco no curto prazo e nada mais, ele ajudará que o solo perca sua capacidade produtiva no médio a longo prazo. Muita atenção então para isso, pois há muitos reflorestadores agindo assim, infelizmente. Mais uma vez repito: as árvores dos eucaliptos são fabulosas, mas não são milagrosas. Se tirarmos os nutrientes do sítio, eles serão exportados e não retornam por meios naturais, só com nossa ajuda. Essa ajuda é a fertilização mineral, mas não é só ela que nos dará um ecossistema saudável. Cabe a nós técnicos do setor manter mínimas as perdas por desperdícios. Técnicos e cientistas devem obrigatoriamente avaliar o balanço de nutrientes de sua área de floresta plantada. Com isso, eles poderão entender as eficiências da floresta em produzir madeira e em ciclar e reter seus nutrientes. Quanto essa floresta usa dos nutrientes do solo? Quanto ela acumula em seus tecidos? Quanto ela devolve de nutrientes ao solo? Quanto desses nutrientes devolvidos ela consegue reaproveitar pela ciclagem? Quanto desses nutrientes devolvidos se perdem? Como evitar que se percam? Quanto desses nutrientes serão retidos pelo solo? Há ainda muito mais perguntas a serem respondidas. Sempre se questionem, vocês que estão envolvidos com o plantio de florestas para fins econômicos. Questionem-se e ajam.

Não são muitos os trabalhos encontrados na literatura com respostas às questões mais difíceis apresentadas anteriormente. A maioria dos trabalhos de pesquisa na literatura se concentram em calcular as proporções de madeira, casca e copa na parte aérea das florestas. Complementam-se depois calculando as quantidades de N, K, P, Ca, Mg nesses compartimentos. Outros vão um pouco mais além e

estudam as deposições de serapilheira e quanto desses elementos caem ao solo. Alguns mais, aumentam a quantidade de elementos estudados, incluindo micronutrientes como boro, ferro, manganês, zinco, etc.

Mas e depois? Quantos desses nutrientes realmente voltam para a planta? Quantas vezes em média um mesmo íon pode voltar ao solo e depois voltar à planta novamente?

Para responder a algumas dessas indagações, recomendo alguns trabalhos maravilhosos encontrados na literatura. Um é do nosso mestre e amigo Dr. Fábio Poggiani, de título "Nutrient cycling in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations ecosystems. Silvicultural implications", publicado na revista IPEF, em 1985. Outra referência ótima é o capítulo 3 do livro dos professores José Leonardo Gonçalves e José Luiz Stape. O livro, publicado em 2002 tem o título "Conservação e cultivo de solos para plantações florestais", editado pelo IPEF. O capítulo 3 tem o título "Manejo de resíduos florestais e preparo do solo", com autoria dos dois professores mencionados e de Marcos Wichert e José Luiz Gava. Outro trabalho sensacional foi escrito pelos nossos estimados professores da UFV , Dra. Maria das Graças Reis e Dr. Nairan Felix de Barros. Trata-se do capítulo VII – "Ciclagem, de nutrientes em plantios de eucaliptos", parte do livro "Relação Solo-Eucalipto", editado em 1990 pela UFV, com a coordenação dos professores Nairan F. Barros e Roberto Ferreira Novaes. Outro trabalho referência sobre o tema de ciclagem de bioelementos é o de Zaia & Gama-Rodrigues, publicado em 2004 e de título "Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense". Mais uma ótima literatura consistiu no resumo da tese de doutoramento do professor Mauro Valdir Schumacher na Universitat fur Bodenkultur, na Áustria. Ele estudou e publicou em 1994 a "Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus globulus*, *E. saligna* e *E.dunnii*". Finalmente, a pesquisa de Vander Freitas de Melo e professores colaboradores da UFV, publicada na revista IPEF, em 1995, de título "Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca, e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul". Todos esses artigos estão referenciados na literatura,

ao término desse capítulo do Eucalyptus Online Book. Além disso, toda a literatura referenciada está disponível junto com o autor, temos todas essas referências na forma integral em nossa biblioteca.

Retornando à serapilheira, nela encontramos um estoque de nutrientes, com um processo dinâmico de entradas, saídas e imobilizações. Uma espécie de banco, com depósitos, saques e poupanças. Isso acontece segundo a segundo.

As quantidades de nutrientes nesse banco variam em função de uma enormidade de fatores, mas pode-se dizer que encontram-se nas faixas a seguir:

Nitrogênio ..... 50 a 250 kg/ha
Fósforo ..... 5 a 50 kg/ha
Potássio ..... 10 a 60 kg/ha
Cálcio ..... 60 a 250 kg/ha
Magnésio ..... 15 a 45 kg/ha

Essas quantidades de bioelementos minerais presentes na serapilheira são originários da própria floresta do eucalipto, do sub-bosque ou dos restos da colheita da floresta que antes habitava o sítio.

Os estudos têm revelado que as plantas dos eucaliptos retornam para o solo e re-disponibilizam para a floresta entre 60 a 70% do nitrogênio absorvido do solo, entre 35 a 60% do fósforo, entre 55 a 80% do potássio, entre 40 a 60% do cálcio e 55 a 70% do magnésio. E isso acontece continuamente. O processo de ciclagem é definitivamente uma fonte de comida para as plantas, por isso precisamos estudá-lo, conhecê-lo e respeitá-lo. Esses percentuais são definitivamente elevados e em parte isso se deve ao fato que um mesmo íon pode retornar ao solo e ser absorvido mais de uma vez pela planta.

Ainda há muito a se estudar sobre esse tema. Faltam muitos conhecimentos sobre essa dinâmica e seus fatores de ótimo. Sabemos muito sobre a parte mais fácil de se pesquisar, que é a quantificação dos nutrientes no solo e nas partes das plantas. Sabemos muito sobre quanto de nutriente vai para a poupança da serapilheira, mas não sabemos ainda muito sobre quanto "rendem de dividendos" ou "quanto

são sacados de volta" pela mesma floresta. Sabemos porém que são proporções significativas e sem essas poupanças, a situação das florestas seria muito menos saudável e menos sustentável.

Por todas essas razões, é fundamental uma gestão adequada dos resíduos da colheita e da manta orgânica depositada pela queda de partes das copas e da casca. Igualmente, pelos resíduos da colheita. Entrar com máquinas pesadas sobre essa manta frágil, desagregá-la e impactá-la, às vezes até queimá-la, são coisas comuns. Há até operações de arrastá-la toda para uma grande leira para "facilitar" as próximas operações florestais. Ingenuidade ou desconhecimento. Difícil definir, pois muitos dos que praticam isso conhecem o tema. Então, o foco pelo mínimo custo no presente pode trazer sérias conseqüências no futuro. Temos que nos adequar a essa gestão, mesmo que representem dificuldades silviculturais a mais. Afinal, estamos nós como técnicos aqui exatamente para isso. Senão, bastaria contratar a força das máquinas e nada mais.

Cabe então ao florestal e ao plantador de florestas desenvolver tecnologias de mínimo impacto sobre a manta orgânica, permitindo a recuperação dos nutrientes e do carbono orgânico dessa manta e dos resíduos da colheita florestal.

8. EXPORTAÇÕES DE NUTRIENTES DAS FLORESTAS PLANTADAS DE EUCALIPTOS

Vimos anteriormente que o ecossistema da floresta plantada está sujeito a constantes movimentações de entradas e saídas de bioelementos minerais e de carbono. Dentre as inúmeras formas de perdas de nutrientes do ecossistema, estão como principais a erosão e a exportação dos minerais pela extração dos produtos da floresta. Já apresentamos também quais os conteúdos desses nutrientes nas diferentes partes das árvores dos eucaliptos. Por essa razão, é possível se conhecer as quantidades aproximadas que estamos exportando, quando retiramos da área um ou outro ou todos os compartimentos que compõem a floresta do eucalipto. Sabe-se também, que quanto mais produtiva for a floresta, mais eficiente ela é para usar os nutrientes e formar matéria seca. Entretanto, como a floresta produtiva forma muito mais madeira por hectare, maior sua produção, maior a exportação de nutrientes da umidade de área, mesmo que o consumo das árvores por tonelada de matéria seca seja menor. Exemplificando para se clarear esse conceito. Podemos ter uma floresta produzindo aos 7 anos cerca de 200 toneladas de madeira seca por hectare. Como ela é produtiva e cresce eficientemente, fazendo bom uso dos nutrientes, o seu consumo de nitrogênio para formar 1000 kg de madeira seca é de 1,5 kg. Uma outra floresta de menor produtividade, por exemplo, 100 toneladas secas por hectare na colheita, pode ter um consumo específico maior de nitrogênio, por exemplo, 2,5 kg de nitrogênio por 1000 kg de madeira seca. Quando compararmos as exportações de nitrogênio pelo corte das duas florestas, verificaremos que a floresta mais produtiva acabou exportando mais por hectare, mesmo sendo mais eficiente no uso do nitrogênio.

<u>Floresta mais produtiva</u>:

200 toneladas madeira/hectare x 1,5 kg/t = 300 kg N/hectare

<u>Floresta menos produtiva</u>:

100 toneladas madeira/hectare x 2,5 kg/t = 250 kg N/hectare

Por unidade de área plantada, a floresta mais eficiente e mais produtiva acabou exportando mais nitrogênio em nosso exemplo. Isso significa que ela esgotou mais o solo por área de floresta, apesar de sua reconhecida maior eficiência. Se olharmos para as produções na colheita, veremos que a segunda floresta produziu a metade da madeira que a primeira. Para igualarmos a produção de madeira em 200 t/ha seriam necessários 2 hectares de plantação da floresta menos produtivo. Nesse caso, a segunda floresta consumiria 2 x 250 = 500 kg N para mesma produção de madeira de caule. Menos produtiva, menos eficiente e mais consumidora e exportadora, para mesma quantidade de madeira, que é o produto da floresta que os humanos querem consumir. O mesmo deve acontecer, para outros elementos, fazendo-se cálculos similares.

Apresentamos que a biomassa seca do tronco é a mais representativa das árvores da floresta, representando entre 65 a 80% da biomassa total, dependendo da espécie, idade, espaçamento, nível de melhoramento genético, qualidade do sítio, etc. Por essa razão, o tronco é o maior exportador de nutrientes minerais. A taxa de remoção e exportação de nutrientes pelo tronco é função da produção de madeira e de casca e da concentração dos nutrientes nesses compartimentos.

Se expressarmos a concentração em kg do nutriente por tonelada de biomassa madeira seca, teremos algo assim:

<u>Madeira</u>

Nitrogênio	0,8 a 2,5 kg N / tonelada de madeira seca
Fósforo	0,1 a 0,5 kg P / tonelada de madeira seca
Potássio	0,5 a 2,0 kg K / tonelada de madeira seca
Cálcio	0,5 a 2,5 kg Ca / tonelada de madeira seca
Magnésio	0,1 a 0,6 kg Mg / tonelada de madeira seca

A partir das concentrações dos nutrientes e da produção em matéria seca de madeira e de casca, poderemos estimar as exportações de nutrientes pela colheita da árvore, com ou sem casca.

Como a casca costuma ser freqüentemente removida com a madeira, também para ela vamos expressar a concentração em

nutrientes em kg nutriente por tonelada seca de biomassa casca. Ficaremos então assim:

<u>Casca</u>

Nitrogênio ..... 1,5 a 3,5 kg N / tonelada de casca seca
Fósforo ..... 0,2 a 1,0 kg P / tonelada de casca seca
Potássio ..... 3 a 8 kg K / tonelada de casca seca
Cálcio ..... 8 a 30 kg Ca / tonelada de casca seca
Magnésio ..... 1,5 a 4 kg Mg / tonelada de casca seca

Finalmente, uma terceira remoção que alguns costumam fazer é a da copa. Uma ingenuidade digna de fazer inveja aos mais ingênuos. A copa é riquíssima em N e P. Ela ajudaria a fornecer esses nutrientes ao solo, aos microrganismos que degradarão a serapilheira. Além disso, ela ajuda a proteger contra a erosão do solo devido ao impacto desagregador das gotas de chuva. Alguns reflorestadores removem a copa por uma ou duas das seguintes razões: para não atrapalhar as operações florestais que se seguirão à colheita; para consumi-la como biomassa energética.

Para a alternativa de uso como biomassa energética, vale a pena fazer um balanço econômico dessa utilização. Se computarmos os custos de trituração, o transporte de um material volumoso e pouco denso, os gastos com reposição de nutrientes, a mão de obra e a depreciação das máquinas, facilmente observaremos que essa operação é deficitária. Muitos já fizeram esses cálculos e desativaram suas máquinas e seus trituradores e removedores de copas. Outros não. Fizeram os cálculos, notaram que não era econômico, mas pela falta de biomassa preferiram

continuar o extrativismo de nutrientes vitais ao ecossistema. Há quem tenha mantido os trituradores, não mais para extrair as copas, mas para fragmentá-la no campo e deixar o terreno mais limpo para facilitar as próximas operações florestais de preparo do solo e plantio. Com isso, evitam os problemas que a galharia oferece nas etapas seguintes da reforma dos povoamentos. Há ainda os que enleiram a galharia nas entrelinhas para permitir que se decomponha em paz, sem atrapalhar ou as brotações das cepas, ou as novas mudas plantadas.

Retirar do sítio florestal a copa das árvores é desprezar seu enorme conteúdo de nitrogênio e de fósforo. Retirar a casca é ignorar seu enorme conteúdo de cálcio. Em ambos os casos, só pratica isso, quem está olhando apenas o presente. Além do mais, não são apenas esses os benefícios que copa e casca fornecem ao terreno florestal. Discutiremos mais tarde, na seção Recomendações, outras vantagens de se deixar esses resíduos.

Na copa temos concentradas frações significativas dos nutrientes totais da floresta. Se a removermos, estamos removendo cerca de 100 a 150 kg N /ha ; 8 a 10 kg/ha de P; 60 a 90 kg/ha de K; 60 a 80 kg/ha de Ca e 20 a 30 kg/ha de Mg.

Já para a casca, quando a removemos na colheita, estamos exportando de uma maneira geral cerca de 35 a 45 kg/ha de N; 8 a 10 kg/ha de P; 40 a 70 kg/ha de K; 250 a 300 kg/ha de Ca e 30 a 40 kg/ha de Mg.

Mais uma vez, como gosto de exemplos numéricos, procurarei demonstrar isso para a nossa floresta exemplo. Aquela floresta plantada de eucalipto, que produziu aos 7 anos, 280 m^3 de madeira e 185 toneladas secas de biomassa total:

Biomassa total: 185 toneladas secas por hectare
Copa: 12 toneladas/hectare
Casca: 15 toneladas/hectare
Raízes: 18 toneladas/hectare
Madeira: 140 toneladas/hectare

Exportações estimadas para nossa floresta exemplo:

Copa:
125 kg N/ha
9 kg P/ha
75 kg K/ha
70 kg Ca/ha
25 kg Mg/ha

Casca:
40 kg N/ha
9 kg P/ha
55 kg K/ha
275 kg Ca/ha
35 kg Mg/ha

Madeira:

Concentração estimada do nutriente Kg nutriente/tonelada madeira seca	Em 140 toneladas secas por hectare teremos uma exportação por cada hectare de:
1,4 kg N / tonelada	196 kg N / hectare
0,2 kg P / tonelada	28 kg P / hectare
1 kg K / tonelada	140 kg K / hectare
1,5 kg Ca / tonelada	210 kg Ca / hectare
0,25 kg Mg / tonelada	35 kg Mg / hectare

Combinando agora todos esses dados em um único quadro:

Compartimento removido	Nutriente				
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**
Madeira do tronco (XX) = % do total da parte aérea	196 (54,3%)	28 (60,8%)	140 (51,8%)	210 (37,8%)	35 (36,8%)
Casca	40 (11,1%)	9 (19,6%)	55 (20,4%)	275 (49,5%)	35 (36,8%)
Copa	125 (34,6%)	9 (19,6%)	75 (27,8%)	70 (12,7%)	25 (26,4%)
Total (100%)	361	46	270	555	95

Se desse povoamento levarmos só a madeira do tronco, deixando casca e copa, estaremos exportando em relação à biomassa aérea da floresta:
54,3% do nitrogênio;
60,8% do fósforo;
51,8% do potássio;
37,8% do cálcio;
36,8% do magnésio.

Se a opção for extrair a madeira com a casca a exportação passará a:
65,4% do nitrogênio;
80,4% do fósforo;
72,2% do potássio;
87,3% do cálcio;
73,6% do magnésio.

Evidentemente, se a copa for também extraída, estaremos levando 100% de todos os nutrientes da parte aérea da floresta. Como

consolo ficariam as raízes e seus nutrientes e carbono orgânico. Não muito em relação ao total.

Para o florestal, área limpa para reforma significa maiores facilidades para preparo do solo e plantio. Ao mesmo tempo, significa menos comida para as plantinhas, menos proteção para o solo, mais erosão, menor umidade do solo e menos sustentabilidade florestal. Tudo é uma questão de opção, de consciência, de informação, de conhecimento, ou de inteligência.

Evidentemente, esses números de exportações e seus percentuais variam caso a caso, mas não diferirão muito dos valores aqui informados como exemplo. O principal fator a determinar se uma exportação será alta, média ou baixa será a quantidade total de biomassa extraída, bem como quais os componentes da floresta que foram removidos para fora da área. Se a floresta for produtiva, como a nossa floresta exemplo, com 140 toneladas de biomassa seca exportada como madeira na colheita, a exportação é alta. Existem florestas mais produtivas, com mais de 200 toneladas de biomassa madeira por hectare na colheita aos 7 anos. Potencialmente, significa maior extração e exportação de nutrientes, apesar de provável maior eficiência no uso dos nutrientes Se a floresta for de baixa produtividade, exemplificando, 20 m^3 de madeira por hectare por ano, aos 7 anos teremos 140 m^3/hectare, aproximadamente 70 toneladas secas de lenho por hectare na colheita. A exportação de nutrientes possivelmente será menor por hectare. Para situações como essa, de menor incremento médio anual, melhor seria alongar o prazo da rotação e se colher a floresta com 9 a 10 anos. A decisão é quase sempre tomada pelo reflorestador com base em uma análise que implica em fluxos de caixa e o plantador acaba por optar colher cedo para antecipar receitas. Quem pagará a conta por uma decisão assim será o meio ambiente.

Até o momento temos focado totalmente nossas explanações acerca de bioelementos maiores, mais abundantes e importantes para as plantas, denominados macronutrientes. Existem, entretanto, outros nutrientes menos abundantes , conhecidos como micronutrientes. Eles são igualmente muito importantes para as plantas. Os micronutrientes

também existem em todos os compartimentos das plantas e também se perdem pela exportação dos componentes da floresta na operação de colheita. No capítulo primeiro desse livro virtual, disponível para downloading em www.eucalyptus.com.br , apresentamos extensa listagem e quantidades dos principais componentes minerais da casca da árvore do eucalipto. Nessa listagem inúmeros micronutrientes estavam registrados. A literatura sobre ciclagem dos micronutrientes não é muito abundante para os eucaliptos, apesar de sua importância. Existem alguns trabalhos que nos permitem citar seus conteúdos e sua possível exportação. Mais adiante, em outra seção desse capítulo, apresentarei mais dados sobre a composição química mineral das madeiras dos eucaliptos, incluindo macro e micronutrientes.

Para ficar dentro do tema em questão, que seria a ciclagem e a exportação de nutrientes, é interessante apresentar alguns relatos de literatura de pesquisas sobre micronutrientes.

Dados sobre exportação de micronutrientes de florestas de eucaliptos (kg de micronutrientes por hectare)

kg exportados / hectare	**Caule** (madeira + casca)	**Copa** (folhas + galhos)
Fe	0,7 a 4	1 a 2,5
Cu	0,3 a 1	0,08 a 0,15
Mn	2 a 15	2 a 3,5
B	1 a 1,5	0,2 a 0,35
Mo	0,01 a 0,02	0,002 a 0,004
Zn	0,3 a 0,5	0,05 a 0,15

Os eucaliptos são muito seletivos na absorção de alguns dos micronutrientes. Da mesma forma que sua falta é vital para as plantas, o seu excesso pode ser prejudicial ou tóxico. Dos micro-elementos, os mais abundantes nas árvores dos eucaliptos costumam ser o manganês e o ferro. Isso é uma desvantagem para alguns dos usos dessas madeiras, como é o caso da produção de celulose branqueada com seqüências contendo ozônio e/ou peróxido de hidrogênio.

9. LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES MEDIANTE A QUEIMA DA BIOMASSA

Algumas vezes e para algumas situações, o plantador de florestas acumula os restos florestais da colheita em leiras e as queima. Isso torna o terreno mais limpo para o preparo de solo e reforma da floresta. Também facilita o combate às pragas e à mato competição, diminui os riscos de incêndio e facilita a mecanização. Por essas razões de facilitação operacional, muitos plantadores gostam de usar o fogo, apesar da sua proibição em muitos países e estados. O fogo mineraliza a matéria orgânica rapidamente. Aquilo que a microbiologia do solo demoraria anos para fazer, o fogo consegue resolver em minutos. As cinzas resultantes, contendo fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e algum nitrogênio, são rapidamente disponibilizadas na superfície do solo. Além disso, outro argumento dos que gostam de fazer "incêndios controlados", o nome que dão a isso, é que não gostam dos restos da colheita, pois em sua decomposição, eles competem por nutrientes com as plantas, principalmente nitrogênio. Já com a queima e a adubação dada pelas cinzas, a planta cresce mais rapidamente em sua fase inicial, pois tem comida em abundância e não enfrenta competições dos matos e da decomposição da matéria orgânica. Apesar disso ser aparentemente vantajoso para a recém plantada floresta, essa vantagem só aparece no curto prazo. A disponibilização dos nutrientes ocorre no momento do plantio e no arranque inicial das mudas. Depois, com as chuvas e com o solo exposto, muitos desses nutrientes minerais são lavados ou volatilizados. É reconhecida a perda de nitrogênio por volatilização no momento das queimadas. É sabido também que as chuvas levam embora o cálcio, o potássio, o magnésio e muitos outros nutrientes. Eles acabam nos cursos d'água levados pelas enxurradas. Lá provocam eutrofização e crescimento abundante de algas, que competirão com os peixes e outros organismos aquáticos.

No médio e longo prazo, a decomposição da serapilheira e dos restos de colheita, com a ciclagem dos nutrientes, é definitivamente

muito melhor para o ecossistema. Isso só falando em termos de nutrientes e seu fornecimento de forma fracionada para as plantas ao longo de sua rotação. Além dessas vantagens do ponto de vista nutricional, a galharia e a casca mais os restos da colheita, ajudam a manter a umidade do solo, evitam sua compactação, fornecem carbono orgânico para as camadas superficiais do solo, minoram a erosão e melhoram definitivamente a micro-vida do solo. Tudo isso ajuda a melhorar as condições eco-biológicas do sistema.

Queimadas ainda existem, apesar de proibidas

Apesar do aumento inicial dos teores de P, Ca, K, Mg no solo onde se procedeu à queima, há queda gradual nesses teores com o passar do tempo. Ocorrem fenômenos importantes de lixiviação, arraste e percolação e com isso a fuga desses elementos da área.

Sabedores de que as plantas crescem inicialmente melhor com a queima das leiras devido à disponibilidade de cinzas nutritivas, podemos muito bem aproveitar cinzas da combustão da biomassa energética para a fertilização de povoamentos florestais. São comuns no setor florestal as caldeiras de biomassa. É incrível que existam ainda empresas que dispõem essas maravilhosas cinzas fertilizantes em aterros sanitários, mescladas com outros resíduos de reconhecida periculosidade. Acabam estragando todo o lixo e estão jogando fora tanto dinheiro como qualidade ambiental. Em geral, as cinzas das caldeiras de biomassa consistem em uma mistura de frações de minerais, areia e carbono orgânico não totalmente queimado.

Resíduos misturados em aterro, incluindo-se cinza de biomassa

Sabemos que os custos são elevados para se dispor as cinzas nas plantações. Sabemos também que essas cinzas já não contém todos os nutrientes que a biomassa original possuía e exportou da floresta. Diversos nutrientes se perderam na queima, como é o caso do nitrogênio. Também, essa biomassa queimada sempre contém contaminantes como areia e terra, o que provoca o aumento do teor de sílica e de óxidos de ferro nas cinzas da biomassa. Entretanto, podemos aplicá-la e muito bem no solo florestal, principalmente nos de mais fácil mecanização.

Cinzas de biomassa para aplicação em povoamentos em implantação

Ao se deixar no solo as copas e eventualmente parte das cascas, e se dispor ainda das cinzas das caldeiras, estaremos dando benefícios extras a esse solo e colaborando para a reposição e ciclagem de nutrientes. Estaremos também ajudando a um arranque inicial melhor das mudas e também favorecendo o desenvolvimento da microbiologia do solo. Essa mesma microbiologia que promoverá a decomposição da serapilheira e liberação de bioelementos para a nova floresta plantada.

Como as cinzas sempre possuem um certo teor de carbono orgânico resultante da queima, esse carbono é quase um tipo de carvão ativo, com alta capacidade de reter água e reter íons. Tudo se completa maravilhosamente. É só querer fazer, não olhando tão somente o custo da operação, mas valorando também todos os benefícios que desfrutaremos.

As cinzas podem também produzir mudanças nas propriedades físicas e químicas dos solos, como por exemplo, elevação do pH, aumento do cálcio trocável, do fósforo e potássio disponíveis, além das melhores possibilidades de agregação das partículas do solo. As melhorias químicas e físicas se refletirão não apenas em ganhos ambientais, mas em ganhos de produtividade florestal. As dosagens de cinzas aplicadas em florestas variam de 2 a 10 toneladas por hectare, dependendo da qualidade do solo e das facilidades para se aplicá-la. As plantas que recebem cinzas têm revelado maiores produtividades e maiores teores de N, K, P, Ca, Mg, S e de micronutrientes em sua biomassa. As quantidades absorvidas de cálcio e de potássio são sempre bem maiores nas áreas que recebem cinzas em relação às testemunhas dos tratamentos que não a recebem.

Resultados encontrados para análises de cinzas de caldeiras de biomassa usando biomassa de eucalipto (casca e cavacos de madeira)

Carbono orgânico	2 a 10 %
Carbono total	3 a 20 %
N total	0 a 0,5 %
P	0,1 a 0,65 %
Ca	1,5 a 7 %
Mg	0,2 a 1,5 %
K	0,5 a 3,5 %
SO_4	6 a 15 %
SiO_2	4 a 8 %
Al_2O_3	1 a 5 %
Cl^-	0,2 a 0,5 %

Mn	0,1 a 0,3 %
Fe_2O_3	1,5 a 5 %
Ni	25 a 150 ppm
Cu	10 a 40 ppm
Zn	15 a 100 ppm
Cd	2,5 a 4 ppm
Co	10 a 20 ppm
Cr	10 a 25 ppm
Hg	0,2 a 0,5 ppm
Relação C orgânico / N total	30 a 100

A partir dos ganhos de produção, substituição de fertilização mineral, dos custos de aplicação da cinza na floresta, das reduções de custos de disposição das cinzas em aterros, etc., é possível se calcular a dose econômica a ser aplicada. Nisso, influenciam diretamente: as quantidades manuseadas e aplicadas, as distâncias entre a fonte geradora de cinzas e o local de aplicação, a topografia do terreno e a forma de distribuição das cinzas no terreno. Não se esquecer de incluir nos balanços econômicos os créditos que passaremos a ter por não mais se ter as cinzas como um resíduo sólido de processo, a ser estocado indefinidamente como um passivo ambiental em aterros que de sanitários só possuem o nome.

10. EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES PELA FLORESTA

A maior ou menor produtividade dos povoamentos de eucaliptos, principalmente quando plantados em solos de baixa fertilidade, está associada ao grau de eficiência da utilização dos bioelementos nutrientes. Cada espécie, ou cada clone, tem sua capacidade de produzir matéria seca a partir dos nutrientes que absorve e utiliza no metabolismo. Evidentemente, se um, apenas um, ou mais de um dos

nutrientes, estiver em nível limitante, não adianta termos quantidades apreciáveis dos demais: a floresta não crescerá e poderá até morrer por falta do nutriente escasso. Os programas de seleção e melhoramento genético do eucalipto se baseiam também na eficiência de utilização dos nutrientes para a escolha dos genótipos superiores. Esse fator de seleção é hoje tão importante como produtividade, qualidade da madeira, forma da árvore e resistência a pragas e doenças.

Os diversos estudiosos do assunto da nutrição mineral dos eucaliptos costumam definir duas formas para medir a eficiência do uso dos nutrientes pelas árvores. Elas serão mostradas nos dois sub-itens que se seguirão, de numerações 10.01 e 10.02.

10.01 Coeficiente de Utilização de Nutrientes para a Produção da Biomassa dos Compartimentos da Árvore

Esse coeficiente consiste na relação entre os quilogramas de biomassa produzida em cada compartimento da árvore por quilograma de nutriente em questão nesse específico compartimento. Pode ser também generalizado para a árvore toda.

Por exemplo, uma floresta de eucalipto pode mostrar as seguintes faixas de valores desses coeficientes de utilização de nutrientes para as diversas partes da árvore e para a árvore toda:

	N	P	K	Ca	Mg
Madeira	600 - 1500	3000-12000	400 - 1300	600 - 3000	2000 - 6500
Casca	400 - 1000	1200 - 3000	150 - 400	20 - 80	200 - 800
Galhos	600 - 1200	1600 - 3500	150 - 350	150 - 350	500 - 1000
Folhas	50 - 100	700 - 1500	100 - 250	80 - 200	300 - 700
Árvore toda	500 - 1000	2500 - 8000	250 - 1100	250 - 1200	1300 - 4500

Esses coeficientes na verdade não levam em conta para seus cálculos as quantidades de biomassas que são produzidas e caem ao solo como serapilheira. Eles são sempre medidos nos diversos

compartimentos da árvore em pé, na sua biomassa aérea, em geral. Se admitirmos que as concentrações dos nutrientes nessas frações de árvores (folhas, galhos, casca, frutos) que caem ao solo forem iguais às concentrações do mesmo compartimento que fica nas árvores vivas na floresta, então os coeficientes deveriam ser praticamente iguais. Mas não é bem assim que ocorre. A árvore, quando joga suas folhas ao solo, já buscou extrair dela seus nutrientes mais móveis como N, P e K para serem usados em outras folhas e tecidos mais jovens. Por isso, as folhas que caem ao solo são menos ricas nesses nutrientes do que as folhas vivas jovens que permanecem nas árvores da floresta. Dessa forma, quando apenas relacionamos a quantidade produzida e medida de biomassa presente em um desses compartimentos da árvore viva em sua parte aérea pela quantidade do nutriente encontrado nesse mesmo compartimento, estaremos tendo um valor bastante diferente em eficiência. Ele é tanto mais diferente quanto maior a relação entre quantidade de biomassa que cai ao solo como serapilheira e biomassa que fica na árvore viva em sua parte aérea. Há também a acrescer o fato de se terem concentrações mais elevadas desses nutrientes na parte viva e menores nas partes mortas descartadas, já que parte dos nutrientes são translocados para a parte viva devido o ciclo bioquímico, já discutido.

Vejamos o caso das folhas: no momento do abate de nossa floresta exemplo , tínhamos 25 a 30 toneladas secas de folhas vivas por hectare da floresta. Entretanto, essa mesma floresta tinha perdido ao longo de seu crescimento uma quantidade de 45 toneladas secas de serapilheira, da qual 55 a 65% eram folhas (24,5 a 30 toneladas secas). Nessas folhas que caíram ao solo, estavam cerca de 92,6% de todo o nitrogênio que caiu ao solo pela deposição da serapilheira da floresta. E quanto do nitrogênio se movimentou antes dessas quedas para as folhas jovens e outros órgãos como flores, frutos, raízes, etc.? Verifiquem então a interessante e intrigante relação que temos em nossa floresta, difícil de ser expressa por números matemáticos isolados. Em nossa floresta exemplo, no momento do abate aos 7 anos, ela possuía 25 a 30 toneladas de folhas secas por hectare. Entretanto, no mesmo hectare

de floresta, ao longo dos 7 anos de seu crescimento, tinha-se acompanhado uma queda de praticamente a mesma quantidade de folhas (24,5 a 30 toneladas secas). Ou seja, o que a floresta tinha de folhas no momento da colheita, ela tinha também depositado ao chão ao longo dos 7 anos. E sempre ao fazer isso, as folhas que ficavam roubavam nutrientes móveis das folhas que caiam. Aparentemente, as folhas são auto-propulsionadas por elas mesmos. Mais uma bela lição da natureza. Reciclagem com ciclo fechado. Um exemplo de reciclagem para nossas fábricas.

No caso das folhas, e da árvore toda, se quisermos ser mais exatos nos cálculos dos coeficientes de utilização dos nutrientes, teríamos que elaborar um bom balanço de massa, com entradas e saídas, e com os loops de reciclagem. Algo que os engenheiros químicos gostam muito de fazer, mas talvez os agrônomos e florestais nem tanto.

Apesar das diferenças apreciáveis que existem entre clones e entre espécies e mesmo dentro da mesma espécie, e dependendo de condições inclusive edafo-climáticas, pode-se dizer que:

a) a madeira é muito eficiente no uso do fósforo;

b) as folhas são muito ineficientes no uso do nitrogênio;

c) a casca é bastante ineficiente no uso do cálcio.

A eficiência de uso do nutriente varia em função da espécie, do clone, da própria disponibilidade do nutriente no solo. Apesar da relativa seletividade das raízes na absorção dos nutrientes, quando há muito de um nutriente no solo, a planta abusa mais em seu uso. Com isso, a eficiência em seu uso é piorada. Ela consumirá mais desse nutriente por tonelada de matéria seca produzida, com um consumo dito "de luxo". Se a disponibilidade do nutriente no solo for baixa, a planta o utiliza melhor e mais sabiamente. Cada nutriente é utilizado diferentemente pela planta. Logo, uma alta eficiência para um determinado nutriente não indicará que as eficiências serão altas para os demais.

Voltemos a seguir, para nossa floresta exemplo, e que vem nos acompanhando nesse capítulo, e vamos tentar estabelecer uma relação entre o que a planta imobiliza em seus diversos compartimentos e o que ela derruba ao solo em massa e nutrientes. Ao mesmo tempo,

procuraremos entender as eficiências nos usos dos nutrientes para se produzir biomassas em cada um dos compartimentos das árvores da floresta plantada.

Para efeito desse exemplo, vamos estabelecer que a floresta tem um incremento médio anual de 40 m^3 de madeira sem casca por hectare e por ano e que está sendo colhida com 7 anos. Logo, sua produção em madeira será 280 m^3/hectare. Também consideraremos que do 4º para o 5º ano a floresta teve um incremento corrente anual (ICA) de 55 m^3/hectare de tronco comercial sem casca.

	Incremento do 4º para 5º ano	Até a colheita e na colheita aos 7 anos
Volume de madeira por hectare, m^3 crescidos (4º/5º ano) ou colhidos no 7º	55	280
Densidade básica média, g/cm^3	0,49	0,50
ICA (4º/5º ano) e produção na colheita, toneladas secas/hectare/ano	26,95	140
Madeira sobre biomassa total, (%)	72	75
Peso total de biomassa, (toneladas secas por hectare)	37,43	185
Deposição de biomassa para serapilheira (4º/5º ano) e total, (toneladas secas por hectare)	8	45
Relação serapilheira depositada sobre peso total biomassa , %	21,4%	24,3%
Relação serapilheira depositada sobre madeira seca comercial , %	29,7%	32,1%

Separando agora a biomassa total em pesos acrescidos em termos dos compartimentos copa, madeira, casca e raízes, tanto para o período do 4º para o 5º ano e para a rotação integral de 7 anos, teremos:

Para o período do 4º para o 5º ano de crescimento:
Biomassa acrescida nesse período: 37,43 toneladas secas por hectare

	Pesos secos acrescidos na floresta (t/ha)				
	Madeira	**Casca**	**Copa**	**Raízes**	**Total**
	26,95	3,74	2,24	4,50	**37,43**
	Concentrações médias estimadas de nutrientes por compartimento (%)				
N	0,165	0,25	1,31	0,175	
P	0,03	0,06	0,13	0,015	
K	0,125	0,55	0,7	0,115	
Ca	0,15	2,15	0,66	0,115	
Mg	0,03	0,28	0,23	0,115	
Novos acréscimos de nutrientes imobilizados pelo crescimento entre o 4º e 5º ano nos diversos compartimentos da floresta (kg/hectare)					
N	44,5	9,4	29,3	7,9	**91,1**
P	8,1	2,2	2,9	0,7	**13,9**
K	33,7	20,6	15,7	5,2	**75,2**
Ca	40,4	80,4	14,8	5,2	**140,8**
Mg	8,1	10,5	5,2	5,2	**29,0**
Coeficiente de Utilização de Nutrientes para Produção de Biomassa (kg de biomassa produzida / kg de nutriente)					
N	606	398	76,5	570	**411**
P	3327	1700	772	6430	**2693**
K	800	182	143	865	**498**
Ca	667	46,5	151	865	**266**
Mg	3327	356	430	865	**1291**

Para a floresta no momento da colheita:

Biomassa total na colheita: 185 toneladas secas por hectare

	Pesos secos na floresta na colheita (t/ha)				
	Madeira	**Casca**	**Copa**	**Raízes**	**Total**
	140	15	10	20	**185**
	Concentrações médias estimadas de nutrientes por compartimento (%)				
N	0,165	0,25	1,31	0,175	
P	0,03	0,06	0,13	0,015	
K	0,125	0,55	0,7	0,115	
Ca	0,15	2,15	0,66	0,115	
Mg	0,03	0,28	0,23	0,115	
Quantidades totais de nutrientes imobilizados em cada compartimento da floresta no momento da colheita (kg/hectare)					
N	231	37,5	131	35	**434,5**
P	42	9	13	3	**67**
K	175	82,5	70	23	**350,5**
Ca	210	322,5	66	23	**621**
Mg	42	42	23	23	**130**
Coeficiente de Utilização de Nutrientes para Produção de Biomassa (kg de biomassa produzida / kg de nutriente)					
N	606	400	76,4	572	**426**
P	3333	1667	769	6666	**2761**
K	800	182	143	870	**528**
Ca	667	46,5	152	870	**298**
Mg	3333	357	435	870	**1423**

É evidente, pela análise dos dois quadros anteriores, que os coeficientes de utilização de nutrientes para produção de biomassa de cada compartimento foram praticamente idênticos em ambos os casos. A razão é simples e matemática, já que se utilizaram nos cálculos os

mesmos valores de concentrações dos nutrientes para cada um dos compartimentos e para cada nutriente. Na natureza isso não ocorre, já que as concentrações variam bastante em função da disponibilidade de água e nutrientes no solo, da atividade metabólica das plantas, da intensidade com que ela está vegetando, etc. Entretanto, o exemplo serviu mais para se ter uma visão didática do mecanismo de cálculo desses coeficientes e das distribuições dos nutrientes nos compartimentos da floresta.

Finalmente, para completar essa avaliação nutricional e ciclagem de macronutrientes da floresta, gostaríamos agora de mostrar o que a floresta exemplo exportou e o que ciclou no total dos 7 anos e na média anual , com base em seu IMA. Estaremos usando para esse exemplo numérico, as mesmas concentrações recém utilizadas nos dois quadros anteriormente apresentados.

Resumidamente temos na colheita da floresta aos 7 anos:

Biomassa total da floresta exemplo: 185 toneladas secas /hectare
Biomassa madeira da floresta exemplo: 140 toneladas secas / hectare
Biomassa casca da floresta exemplo: 15 toneladas secas / hectare
Biomassa copa da floresta exemplo : 10 toneladas secas / hectare
Biomassa raízes da floresta exemplo: 20 toneladas secas / hectare

Exportação ou conteúdo de nutrientes na colheita da floresta, em kg/ha	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**
Madeira	231	42	175	210	42
Casca	37,5	9	82,5	322,5	42
Copa	131	13	70	66	23
Raízes (não exportada)	35	3	23	23	23
Total nutrientes na floresta plantada – kg/ha	434,5	67	350,5	621,5	130

Exportação da parte aérea na colheita - kg/ha	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**
Só madeira	231 (53,2%)	42 (62,7%)	175 (49,9%)	210 (33,8%)	42 (32,3%)
Madeira + casca	268,5 (61,8%)	51 (76,1%)	257,5 73,5%)	532,5 (85,7%)	84 (64,6%)
Madeira + casca + copa	399,5 (91,9%)	64 (95,5%)	327,5 (93,4%)	598,5 (96,3%)	107 (82,3%)

Deposição de nutrientes com a serapilheira – kg/ha (dados de quadro anterior)	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**
Por ano em média	84	8,32	45,71	54,30	15,77
Total nos 7 anos	588	58,2	320	380	110,4

Nutrientes com os resíduos da colheita – kg/ha	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**
Só copa	131	13	70	66	23
Copa + casca	168,5	22	152,5	388,5	65
Copa + casca + raízes	203,5	25	175,5	411,5	88

Os dados apresentados são realmente impressionantes e motivo para inúmeras reflexões. Por mais ingênua que seja a pessoa que os olhar e pensar sobre eles, a conclusão só pode ser uma : o fantástico e importantíssimo papel da ciclagem dos nutrientes na floresta plantada dos eucaliptos. Apesar de todo o assombro que esses números nos mostram, uma coisa também é evidente. Se não fizermos uma adequada gestão desse processo, as exportações e as perdas serão enormes e a sustentabilidade da área ficará comprometida. Por essa razão que é bom que se conheçam esses valores numéricos aproximados aqui

mostrados e os impactos resultantes da gestão desse processo para se otimizá-la.

10.02 Índice de Exportação Biológica dos Elementos

Esse índice é muito útil para nossa previsões de adubação e para um bom programa de nutrição florestal. Na verdade é um índice que se relaciona com a concentração do nutriente na madeira ou na parte da árvore em consideração.

Consiste na relação entre:
(kg de elemento exportado ou retido pela parte ou compartimento da árvore) / (tonelada de matéria seca dessa parte da árvore em questão).

Exemplos:
1,2 kg de N exportado ou retido por tonelada de madeira seca;
4,5 kg de K exportado por tonelada de casca seca;
1,8 kg de N exportado pela madeira e casca por tonelada seca de tronco com casca , etc., etc.

A produtividade maior da floresta e o uso de mais partes das árvores (madeira; madeira + casca; madeira + casca + copa) implicam em maior remoção e exportação de minerais do sítio florestal. Quanto mais peso seco de material orgânico florestal for retirado por hectare, maior será a quantidade de nutrientes exportados. Isso porque teremos mais biomassa sendo produzida na área e essa biomassa sempre contem nutrientes em sua composição. É claro, que em algumas situações, devido ao fato de uma floresta ser extremamente eficiente no uso dos nutrientes, essa regra geral poderá comparativamente não se aplicar.

Os nutrientes são absorvidos pelas árvores das florestas em função de fatores biológicos (genoma, capacidade de absorção das raízes, etc.), fatores edáficos (fertilidade, porosidade, umidade do solo), fatores climáticos (umidade do ar, insolação, etc.) e manejo silvicultural da floresta. Em função disso, temos às vezes, espécies que

concentram mais minerais em suas madeiras por razões genéticas. É o caso do *Eucalyptus dunnii* e *E.globulus*, em relação a outras que possuem menos minerais em sua constituição (*E. grandis*). Há espécies que absorvem muito manganês (*E.saligna*), ao passo que outras absorvem menos.

O solo possui em sua constituição uma certa quantidade de nutrientes extraíveis. Nesse solo, além dos nutrientes extraíveis ou trocáveis, que são os que a planta pode facilmente absorver através da solução do solo, existem também os chamados nutrientes fixados na rocha mãe e os fortemente retidos pelas argilas. Por isso, em química de solo, determinam-se também os nutrientes totais do solo, para se saber a sua capacidade em repor o que for exportado pelas plantas. Entretanto, esses nutrientes para serem liberados exigem tempo, e às vezes a planta e a floresta não podem esperar que isso ocorra.

As plantas da floresta de eucalipto absorvem muito mais nutrientes até uma profundidade de 40 cm. Além dos nutrientes do solo, existem também os nutrientes que estão no "banco de nutrientes" da serapilheira, como já vimos. Importante ainda se recordar acerca da importância da serapilheira, dos resíduos da colheita e das raízes finas da camada superficial do solo. Tudo isso colabora para uma concentração e um conteúdo mais elevados de nutrientes na superfície do solo. Também há nessas camadas superficiais uma muito melhor estruturação do solo, resultado desses fatores benéficos.

Com base em tudo isso, calcula-se a recomendação de fertilização mineral da área, que é a forma encontrada para tentar repor no ecossistema o que for exportado com os produtos da floresta.

Sabendo-se quanto de cada nutriente a floresta exporta a cada colheita (em kg/hectare) e quanto se possui dele no solo e na serapilheira/resíduos, é possível se estimar o número de colheitas que se poderá aplicar nessa área florestal sem que haja uma queda na produtividade florestal, mantidas as taxas de exportação e de ciclagem de nutrientes.

Seja por exemplo a extração apenas de madeira na colheita, com descascamento no campo.
Sejam os valores numéricos a título de exemplo:
Q1 = Quantidade de N na serapilheira = 190 kg/hectare
Q2 = Quantidade de N extraível e presente no solo = 110 kg/hectare
Q3 = Quantidade de N presente nos resíduos da colheita e que permanecerão sobre o solo após a colheita = 180 kg/hectare
Q4 = Quantidade de N exportado pela madeira = 160 kg/hectare

<u>Número de colheitas potenciais que suporta a área em questão</u>:

Nº Colheitas = (Q1 + Q2 + Q3) / Q 4
= (190 + 110 + 180) / 160 = 480 / 160 = 3

O número de cortes estimados que ainda poderão ser obtidos com base nas disponibilidades de nutrientes no solo, na manta orgânica e nos resíduos da colheita, nos oferecem idéias de como está o balanço de cada nutriente no ecossistema florestal. Esse número de colheitas potenciais feito para cada nutriente nos dará informações sobre quais os nutrientes mais críticos. Há casos onde a situação do elemento é tão crítica que o número de colheitas estimado dá valor próximo a zero. É o caso, muitas vezes, dos nutrientes fósforo ou potássio. Isso significa apenas e tão somente que a atual floresta plantada já está sofrendo, passando fome, desses elementos. Quanto mais próximo de zero for o valor calculado, mais carente está o ecossistema nesse nutriente.

Quando o nutriente é abundante no solo, como por exemplo, o magnésio em alguns solos brasileiros, o número de colheitas potenciais para esse elemento pode atingir 10 , 20 ou mais. Significa que não estamos com falta desse elemento para as futuras gerações de árvores que forem plantadas nessa área. Isso para o caso específico do magnésio. A mesma área pode, porém, estar muito carente em fósforo, o que já seria limitante à produtividade da floresta.

Em todas as situações, atenção muito especial, nenhum descuido é permitido, pois nos bioelementos nutrientes estão a garantia de

colheitas abundantes. Por melhor que sejam os genomas de nossos clones, faltando comida, eles produzirão quase nada, é bom que isso fique bem claro.

Recordando mais uma vez para fixação dos conceitos apresentados: baseados na presença do nutriente no solo; na capacidade produtiva da floresta em seus produtos; na exportação de nutrientes da floresta; na ciclagem de nutrientes da manta orgânica e dos resíduos deixados na colheita, e na estimativa de fugas de minerais do sítio devido erosão, lixiviação, etc., poderemos definir com muita segurança as adubações minerais a serem realizadas na área. Com isso, estaremos tentando garantir a capacidade produtiva do sítio e a sua sustentabilidade. Entretanto, isso está longe de ser tudo. Isso é apenas parte de um grande jogo onde a natureza estará sempre a nos reservar surpresas. Maiores elas serão, quanto menos cuidarmos em minimizar nossos impactos.

11. BALANÇOS NUTRICIONAIS PARA OS BIOLEMENTOS

Os eucaliptos são quase sempre plantados em terrenos pobres, de baixa fertilidade e com pouca destinação agrícola. Em geral, são pastagens degradadas ou terrenos agredidos anteriormente por culturas intensivas (cana-de-açúcar, algodão, milho, café, etc.). Há uma crença popular de que os eucaliptos são pouco exigentes em nutrientes e que crescem bem em qualquer terreno, mesmo nos altamente erodidos e de baixa fertilidade. Por essa razão, encontramos florestas de eucaliptos plantadas em terrenos muito pobres, arenosos, ou às vezes, muito úmidos, ou muito erodidos, ou então, muito pedregosos. Evidentemente, as florestas de eucaliptos não são milagrosas, já falamos sobre isso. As árvores para crescer bem precisam de nutrientes. Sem eles, elas crescem até o momento em que existe

fertilidade e depois interrompem o crescimento, tanto por falta ou escassez de um ou mais elementos minerais.

Floresta de eucalipto com baixo incremento volumétrico, aos 3 anos de idade, devido à baixíssima fertilidade do solo

Os bioelementos minerais podem ser repostos por adubação mineral, mas também a adubação não é milagrosa. Ela é em geral feita no plantio e depois em reforços até no máximo 12 meses de idade. A partir daí, a floresta se adensa, o mato idem no sub-bosque, e a adubação passa a ser mais difícil, cara e menos eficiente. Por todas essas razões, o plantador de florestas precisa entender muito bem os ciclos de nutrientes em sua área, bem como as exigências do material que está plantado. O que é uma condição boa para o plantio, que o plantador chama de "área limpa", com a terra exposta e praticamente isenta de galharia, restos vegetais, mato, etc., é uma condição ambientalmente ruim. Por outro lado, um terreno cheio de restos de cultura da colheita anterior é uma condição muito interessante para a nova floresta. Entretanto, é preciso se fazer uma boa gestão desse material, senão teremos igualmente problemas. Os restos de colheita não podem sufocar as cepas, se a floresta vai ser conduzida para uma nova rotação. Também, os restos de cultura precisam ser afastados da linha de plantio ou das covas de plantio. Isso, para evitar a competição por

nutrientes dos microrganismos que querem degradá-lo. Ou então para evitar algum tipo de alelopatia.

As empresas florestais precisam cada vez mais incluir em seus planejamentos florestais o conceito de "balanço nutricional". Um bom balanço nutricional não implica apenas em se analisar o solo e se adubar as mudas no plantio, como muitos fazem. Isso é apenas uma parte do todo. Mesmo que a adubação tenha sido feita com base em análises de solos em diferentes profundidades e para diferentes bioelementos vitais.

Um balanço nutricional engloba muito mais. Ele deve envolver a avaliação de:

- nutrientes presentes na serapilheira acumulada na floresta,
- tempo médio de residência do nutriente na serapilheira, ou de decomposição da manta orgânica,
- nutrientes que serão agregados pelos restos da colheita florestal, no momento que isso ocorrer,
- taxa de decomposição das diferentes matérias orgânicas presentes na área (função principalmente da relação C/N),
- competição por nitrogênio por parte dos microrganismos,
- nutrientes demandados pelas árvores para formação de copa, raiz, caule, frutos, etc.,
- nutrientes que serão exportados quando da colheita, em função do que for retirado da área (só madeira, ou madeira e casca, etc.),
- nutrientes presentes nas diferentes camadas do solo,
- perdas de nutrientes do sistema por erosão, percolação, lavagem do solo, arraste de sedimentos, volatilização, etc.,
- nutrientes que deverão ser incorporados como adubo para resgatar a fertilidade do ecossistema e restaurar o equilíbrio nutricional e o balanço de nutrientes,
- formas de se dispor os resíduos da colheita sobre o solo,
- formas e momentos de se aplicar a fertilização mineral na recém plantada floresta,
- conhecimento das demandas e das eficiências nutricionais da espécie ou do clone que se está a plantar,

- conhecimento das demandas dos outros seres vivos do ecossistema (mato, sub-bosque, micro-vida, etc.).

Antes de avançar mais nesse tema, seria bom enveredar por alguns novos conceitos, a saber:

Taxa de decomposição da serapilheira (K): é a relação entre a massa seca de serapilheira produzida no ano sobre a massa seca de serapilheira que está acumulada no solo.
Exemplo, se temos uma produção no ano de 5 toneladas secas de serapilheira e a massa seca acumulada no solo é de 20 toneladas secas, ambas por hectare, então:

$$K = 5 / 20 = 0,25$$

Isso significa que, em média, a serapilheira que cai ao solo se decompõe em cerca de 25% de sua massa por ano, ou então, ela levaria aproximadamente 4 anos para ser totalmente decomposta.

Tempo média de residência do nutriente (TMR): é a relação entre a quantidade de nutriente da serapilheira acumulada pela quantidade do nutriente da serapilheira produzida no ano.
Exemplo:

- quantidade de fósforo na serapilheira acumulada sobre o solo = 18 kg/hectare
- quantidade de fósforo que cai ao solo com a serapilheira lançada ao solo no ano = 6 kg/hectare

TMR = 18 / 6 = 3 anos

Isso significa que a liberação do fósforo se dá de forma mais rápida do que a decomposição da matéria orgânica da serapilheira ($K_{serapilheira}$ = 0,25 ou 4 anos e $TMR_{fósforo}$ = 3 anos).

Esses valores nos indicam o "turn over" ou giro do nutriente e da manta orgânica. Dá uma indicação da taxa de remineralização do nutriente.

A partir da deposição de serapilheira (3 a 10 toneladas secas por hectare e por ano), da quantidade de serapilheira acumulada no solo (15 a 25 toneladas secas por hectare) e dos teores de cada nutriente, tanto na serapilheira acumulada como no material que cai ao solo, podemos estimar o que estará sendo disponibilizado em minerais pela ciclagem de nutrientes para a floresta em crescimento. Lembrar ainda que nem tudo vai para as árvores. Ocorrem perdas de nutrientes e há outros habitantes consumidores de nutrientes nas florestas plantadas. Há também o fenômeno de imobilização de alguma quantidade de nutrientes pelo solo, pela alta capacidade de retenção das argilas e do húmus do solo.

Importantes restos de colheita (ponteiros ricos em nutrientes) e preparo do solo na reforma da área

A título de mais um exemplo matemático, colocaremos a seguir um quadro ilustrativo dos bioelementos em seus diversos compartimentos florestais e no solo, para entender como pode ser feito um balanço nutricional de forma simplificada para uma floresta plantada de eucalipto. Através de um modelo como esse, é possível, ao florestal, entender muito bem a dinâmica dos nutrientes em sua área florestal, estabelecer melhor suas formulações de adubação, buscar se defender de imprevistos na produtividade, além de caminhar mais facilmente para a obtenção da necessária sustentabilidade da capacidade produtiva do sítio.

Balanço nutricional: Valores exemplificados e em kg/hectare

	N	P	K	Ca	Mg
Acumulado na madeira	220	26	180	200	40
Acumulado na serapilheira	180	15	50	300	60
Acumulado na casca	50	10	60	250	35
Acumulado na copa	140	9	55	100	25
Acumulado nas raízes	100	4	30	45	35
Acumulado no solo					
▪ 0 – 20 cm	340	8	80	350	210
▪ 20 – 40 cm	220	3	35	150	180
▪ 40 – 70 cm	180	4	40	200	240
▪ 70 – 100 cm	100	2	30	500	150
▪ 100 – 130 cm	80	3	25	380	170
▪ 130 – 170 cm	120	4	20	400	240
Exportações possíveis					
Só pela madeira	220	26	180	200	40
Madeira + Casca	270	36	240	450	75
Disponibilidades novas					
Resíduos da colheita					
▪ Só copa	140	9	55	100	25
▪ Copa + casca	190	19	115	350	60
▪ Copa + casca + raízes	290	23	145	395	95
▪ **Adubação mineral**	**A calcular ??**	**A calcular ??**	**A calcular ??**	**A calcular ??**	**A calcular ??**

Os cálculos para as adubações devem então serem baseados não apenas nas disponibilidades de nutrientes no solo. Todo um balanço de nutrientes deve ser elaborado e isso não é nada difícil de se fazer.

Existem também perdas a serem consideradas, que são as que acontecem pela saída de nutrientes de nosso ecossistema pelas mais diferentes formas.

Cada material genético ou cada clone de eucalipto apresenta um dinamismo próprio em relação a esses fatores. Por isso, exigem que se calculem seus balanços nutricionais específicos para os ambientes onde plantados. Há ainda a altíssima relação com o ambiente (clima, solo, topografia, umidade, etc.). Sem um adequado monitoramento de tudo isso, e sem medidas preventivas para se conter perdas, estaremos praticando uma silvicultura "às cegas", de segunda ou terceira qualidade.

As adubações das florestas de eucaliptos costumam ser feitas no plantio, ao lado das mudas, acompanhadas ou não de adubações complementares em cobertura até os 12 meses de idade da floresta. A adubação no plantio consiste em uma adubação de arranque (100 a 150 gramas de adubo por muda). As adubações complementares ocorrem aos 2 ou 3 meses, entre 6 a 8 meses e no máximo entre 9 a 12 meses. Em geral, as adubações levam em conta muito mais a análise do solo do que um balanço nutricional como o recém apresentado. Dá-se enorme importância à análise do solo e quase nada ao balanço nutricional, envolvendo a ciclagem dos nutrientes. Exportações de nutrientes, acúmulo e liberação pela serapilheira, resíduos da colheita, taxas de mineralização, perdas, etc., são quase sempre esquecidos nos cálculos das doses de adubos a aplicar. Uma lástima, mas em muitos casos, é por total desconhecimento de como fazê-lo.

As quantidades totais de adubos minerais colocados no solo variam caso a caso, mas em média estão nas faixas de 50 a 100 kg N por hectare; 20 a 50 kg P solúvel/hectare; 50 a 100 kg K/hectare. Alguns complementam com uma fonte de cálcio (entre 1 a 3 toneladas por hectare) e um coquetel de micronutrientes. Outros ainda preferem aplicar uma certa quantidade de fosfato natural de mais lenta disponibilização, para que o fósforo se torne acessível à floresta mesmo em idades mais avançadas. Voltaremos a esse tópico de nutrição e

adubação das florestas de eucalipto em outro capítulo de nosso livro virtual. Aguardem.

12. TEORES DE COMPONENTES INORGÂNICOS E MINERAIS NAS MADEIRAS DOS EUCALIPTOS

Quando a madeira é submetida à combustão e perde todo seu carbono orgânico, ela deixa um resíduo denominado cinzas. Nessas cinzas estão todos os elementos minerais que a madeira recebeu do solo durante a vida da árvore. O teor de cinzas da madeira e das outras partes da árvore, é determinado com base em amostras pequenas de materiais. Essas amostras são secadas em estufa e queimadas em mufla a 575± 25 °C. Temperaturas maiores não são recomendadas porque provocam a decomposição do carbono mineralizado e presente na forma de carbonatos. Elas também causam a volatilização de parte importante do nitrogênio. Os componentes inorgânicos da madeira e das outras partes das árvores dos eucaliptos não são muito estudados, apesar da importância industrial que apresentam. Eles ganharam mais importância nos últimos 10 anos, quando as fábricas de celulose e papel passaram a fechar mais os seus circuitos de águas. Com isso, os minerais passaram a ficar mais retidos e concentrados nos processos industriais. Eles passaram então a participar de reações indesejáveis, catalisando, reagindo, incrustando ou interferindo em propriedades e nas qualidades dos produtos finais.

Elementos minerais existem em todas as partes das árvores dos eucaliptos, como já vimos. Alguns, que participam do metabolismo das árvores, são chamados nutrientes. Os que existem em maior quantidade e em importância no metabolismo, são os macronutrientes; os que existem em menores quantidades são os micronutrientes. Alguns outros minerais não possuem função metabólica conhecida, mas são encontrados na madeira ou em outras partes das árvores. Isso porque existem nos solos, ou são contaminantes levados por fumaças industriais

às florestas. As árvores acabam absorvendo-os passivamente e incorporando-os em seus conteúdos. Entretanto, apesar das plantas serem mais absorvedoras de íons do solo, quando eles são mais abundantes, elas não fazem isso para todos os íons. Quando o íon pode lhe causar alguma toxicidade, como o ferro ou o zinco, elas são bastante sábias. Como já vimos, elas restringem a absorção desse íon do solo através de uma absorção mais seletiva. Portanto, as árvores dos eucaliptos desenvolveram mecanismos para controlar a absorção de alguns íons minerais. Entretanto, em condições anormais, esses mecanismos podem não funcionar e a planta passar a amostrar sintomas de fitotoxicidade. Com isso, o crescimento será afetado.

Já vimos também que a absorção dos elementos minerais do solo varia conforme uma série de fatores como espécie, material genético, clone, ritmo de crescimento, disponibilidade maior ou menor desses íons no solo por sua fertilidade, déficit hídrico, etc. Algumas árvores absorvem mais do que outras. Algumas espécies ainda mais. Espécies como *E.dunnii* e *E.globulus* costumam absorver mais do que *E.grandis* e *E.saligna* por tonelada de biomassa produzida. Talvez até mesmo por isso, sejam mais tolerantes às geadas, devido a sua maior concentração osmótica na solução celular das folhas e tecidos vivos.

As concentrações de íons minerais nas árvores variam bastante conforme a parte da árvore e entre árvores. Há também uma forte influência das metodologias amostrais e analíticas utilizadas nas determinações. Como alguns desses íons existem em concentrações muito baixas, as determinações precisam ter altas precisão e repetibilidade. A amostragem deve ser também a mais representativa possível.

Alguns elementos são biologicamente importantes para as árvores como N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, B, Fe. Alguns, as árvores os requerem em concentrações de 1 a 2% em seus tecidos, outros elementos em 1 a 100 ppm e outros em ppb. Mesmo os elementos existentes em baixas concentrações, em ppm ou ppb , podem apresentar problemas e danos ao uso industrial da madeira. Elementos como Mn, Mo, Fe, Zn, podem participar de reações como catalisadores ou colaborando para

decomposição de insumos químicos utilizados nas fábricas de celulose, por exemplo. Ao longo desse livro virtual teremos um capítulo especial sobre as interferências dos íons minerais sobre os processos de produção de celulose e papel. Nessa situação, esses elementos são denominados de "elementos não processuais", pois são estranhos e indesejáveis ao processamento industrial, apesar de sempre estarem presentes neles. Há inúmeras áreas na fabricação de celulose e papel onde eles causam problemas tais como: incrustações em digestores e equipamentos de branqueamento; catálises de reações de escurecimento da celulose e do papel; decomposição de insumos químicos branqueadores; reações de saponificação de resinas da madeira, formando compostos grudentos denominados de "pitch"; entupimentos em caldeiras de recuperação devido alterações nos pontos de sublimação ou de solidificação das cinzas; etc., etc. Isso tudo se reflete em perdas de produção e de produtividade, em custos adicionais e em redução da vida útil dos equipamentos.

Os elementos minerais que acompanham a madeira para as fábricas são de dois tipos: a) aqueles que são inerentes à madeira, fazendo parte de sua constituição; b) os que estão contaminando a madeira como terra, poeira, etc. Por isso, não adianta só melhorar geneticamente a madeira para ela conter menos "cinzas" em sua composição. É preciso também que as toras estejam limpas quando entrarem no processamento industrial. Isso pode ser feito nas operações de colheita e de manuseio das toras e o toque final ser dado na seção de lavagem das toras nas fábricas.

A distribuição dos íons minerais na madeira é variável com a altura da mesma e com a região amostrada (se cerne ou alburno). É reconhecido que as extremidades das árvores possuem teor maior de cinzas que o meio da árvore. As proximidades da copa e das raízes parece que favorecem o acúmulo de nutrientes. Isso varia de espécie para espécie, ou de clone para clone, mas essas concentrações chegam a ser 30 a 40% menores na região central da árvore em relação às extremidades. Como era de se esperar, no topo da árvore, na extremidade do tronco próximo à copa e suas folhas, é onde se

concentram ainda mais os íons minerais. Afinal , é aí na copa que está acontecendo fortemente o metabolismo das árvores. Nas folhas e em seus cloroplastos está ocorrendo a síntese dos carboidratos pela fotossíntese. Está também acontecendo a transpiração da água, que ao sair da árvore, deixa mais concentrada a solução dos sucos celulares. Está também acontecendo muito da respiração, onde os tecidos gastam carboidratos para fazer proteínas, graxas, ceras, óleos essenciais, etc. Por isso, é fato comum que os elementos mais móveis como N, P e K subam de outros tecidos para a copa toda vez que requeridos. Só se sabendo e entendendo isso para se ficar muito aborrecido, quando vemos copas sendo queimadas em caldeiras de biomassa para se gerar energia.

Mais próximo das raízes, temos muitas células de parênquima que servem de acúmulo e de reserva de nutrientes. Por essa razão, temos na base da árvore um maior teor de íons. Isso ocorre também pela maior idade do cerne nessa região, que está sendo enriquecido de elementos químicos para se tornar mais resistente.

Já com relação às diferenças em conteúdo mineral entre cerne e alburno, os resultados são controversos. Em parte, porque a formação do cerne implica em deposição de resinas, extrativos e outros compostos tóxicos para proteger o centro da árvore contra a deterioração. O objetivo da árvore é tornar o cerne mais resistente a estresses mecânicos e também ao ataque de fungos saprofíticos. Os elementos minerais aí depositados, isolada ou combinadamente a moléculas, também colaboram com isso.

Outro motivo da controvérsia é que os cernes das árvores de eucaliptos, e que são utilizadas pela indústria, são ainda muito imaturos, jovens, em pleno processo de cernificação. No momento do uso dessas árvores dos eucaliptos pela indústria, elas ainda são jovens e os cernes ainda em formação.

Se considerarmos o alburno ativo, ele deveria ser bem rico em elementos minerais. É por ele que trafega a seiva mineral retirada do solo e que está indo em direção às folhas. Na região limítrofe entre casca e xilema encontram-se teores bem elevados de cálcio, talvez mais

por influência da casca., As células de floema e xilema também trocam sucos nutritivos através de seus raios medulares, que permeiam do xilema ao floema e vice-versa. Alguns íons como P, K, Mg e Cl^- são em geral mais abundantes no alburno do que no cerne. Curiosamente, o íon cloreto é também muito abundante na casca, onde pode ocorrer em concentrações de 1000 a 3000 ppm. Para os demais íons, a tendência é termos concentrações maiores conforme nos aproximamos da medula. Nas proximidades da medula, a madeira é menos densa, as paredes de fibras menos espessas e as proporções de vasos e de parênquimas são maiores. Esses fatores favorecem a maior acumulação de íons minerais nessas regiões, preenchendo espaços vazios junto com os extrativos. Lembrar que o cerne é formado através de intensas deposições de extrativos para encher os poros da madeira. Esses extrativos também possuem íons minerais em suas composições químicas, ou então por ligações por pontes eletrostáticas devido polaridades. Os íons minerais muitas vezes fazem parte da molécula dos extrativos formando sabões orgânicos. As árvores descobriram que o transporte de sabões orgânicos é bem mais fácil através dos seus elementos condutores e de reserva.

Um dos maiores problemas nas obtenções de dados, às vezes tão diferentes, consiste nos critérios analíticos de amostragens e de análises. É incrível como se cometem verdadeiras heresias analíticas. A primeira delas é com a amostragem do material a ser analisado. As análises de cinzas são feitas com base em poucas gramas de amostras, que seguem primeiro para a queima e depois para as determinações dos elementos minerais. Por essa razão, devemos ter amostras absolutamente representativas da parte da árvore em questão: folhas, cerne, alburno, madeira de tronco, casca, etc., etc. Isso definitivamente não é fácil de ser conseguido e muitas vezes a amostra está longe de ser representativa. Imaginem que estaremos analisando umas poucas gramas e extrapolando para florestas com mais de 100 toneladas de madeira por hectare, com uma enorme e conhecida variação para suas propriedades. É comum se inferir e se concluir com base em umas

poucas análises e tão pouco representativas. Às vezes, isso é feito até mesmo na decisão de projetos com alguns milhares de hectares de florestas ou de milhões de dólares de investimentos. Ingenuidade, falta de conhecimento ou preguiça de se analisar mais e corretamente: a resposta certa pode ser uma ou diversas dessas três opções.

A representatividade da amostra precisa levar em conta as variações que ocorrem entre espécies, entre árvores, dentro da própria árvore e entre tipos de tecidos e compartimentos das árvores. Logo, o plano de coleta de amostras precisa ser muito bem feito para representar o que queremos que seja representado. Incrível que ainda existem trabalhos que analisam uma única árvore de um povoamento clonal com a suposição de que, pelo fato de ser um clone, todas as árvores serão iguais em sua composição química e demais propriedades. Enorme ilusão que leva a enormes erros e falsas conclusões. Dessa discussão, fica claro que o número e o tamanho da amostra é muito importante. Há formas de se realizar pré-testes para se verificar a variabilidade dos dados. A partir disso e com base no erro que se quer cometer, pode-se determinar o número de amostras a tomar e a forma de se fazer isso. Temos diversos trabalhos apresentados na literatura sobre isso, e que podem ser acessados em www.celso-foelkel.com.br na seção artigos e palestras.

Outro problema pouco considerado é a repetibilidade analítica. Há muitos laboratórios que se contentam com a média de duas análises, mesmo que elas sejam, às vezes, discrepantes. Há sempre o esquecimento de se avaliar quantas análises e quantas repetições temos que fazer em função do erro que queremos cometer. Mais uma vez, há a necessidade de pré-testes para se saber quantas repetições devo realizar para se ter um valor médio que represente a população dentro de uma certa probabilidade de erro que estabeleceremos. Uma coisa inacreditável é que muitos analistas fazem determinações em duplicata da mesma amostra e se rejubilam com a repetibilidade encontrada. Até acreditam que isso seria válido para toda a população! Ter boa repetibilidade entre determinações feitas no mesmo material é obrigação do laboratório. Ele tem obrigação de dar valores

concordantes para análises feitas sobre a mesmíssima amostra. Minha pergunta então é a seguinte: e se outras amostras forem colhidas da mesma população, qual será a variabilidade encontrada? Será que o júbilo inicial seria mantido? Em qual valor acreditar?

Um outro problema analítico consiste na forma de se destruir o conteúdo orgânico da amostra e com isso liberar os elementos minerais para a análise dos mesmos. Em geral são utilizadas duas metodologias para isso: a) queima da amostra em mufla, em cadinho de platina, a 575±25°C e posterior dissolução ácida das cinzas; b) digestão ácida da matéria orgânica da amostra de tecido em solução nítrica/perclórica. Essa dissolução é fortemente oxidante e destroe a matéria orgânica, deixando os minerais na solução ácida após reação. Ambas essas metodologias de liberação dos elementos minerais não são totalmente boas . A queima em mufla tem a vantagem de permitir se trabalhar com amostras maiores de material, portanto diminui-se o erro devido tamanho da amostra. Entretanto, ela causa certa volatilização de elementos como N e P. A digestão ácida é sempre feita com quantidades ínfimas de amostras, portanto a representatividade pode ser muito comprometida. Nesses casos, dever-se-ia trabalhar com muito mais repetições.

Além das dificuldades com a amostragem, com a representatividade , com a repetibilidade, com a variabilidade e com a digestão da matéria orgânica, temos ainda o problema da metodologia analítica. São usados métodos gravimétricos, ou métodos baseados em equipamentos como fotômetros de chama, espectrofotômetros de absorção atômica ou de massa com fonte de plasma ("Inductive Coupled Plasm – ICP").

São por essas razões, às vezes mais do que devido às próprias árvores, que os resultados publicados variam tanto entre diferentes trabalhos. Ou mesmo dentro do mesmo trabalho. Muitos estudos de balanços nutricionais, ou de exportação de nutrientes, ou de composição química da madeira, precisam antes de tudo começar pelo aperfeiçoamento das técnicas de amostragem e de análise.

A maneira mais simples de se testar grosseiramente os elementos minerais na madeira é se medir o seu teor de cinzas. As madeiras dos eucaliptos possuem entre 0,3 a 1% de cinzas, dependendo de uma série de fatores da árvore e floresta (espécie, idade, região do tronco, contaminações, etc.), ou da metodologia analítica. Há espécies ou clones que possuem mais elementos minerais em seus tecidos, outros menos. Há florestas que são mais eficientes no uso dos nutrientes, outras nem tanto.

Nas cinzas da madeira estão os elementos minerais, mas nem todos. Alguns como o N e o P podem não estar em sua totalidade, pois se perdem parcialmente na queima a altas temperaturas. Na cinza não temos somente elementos minerais inorgânicos. Há chance de se ter um residual de carbono orgânico pela queima incompleta. Há ainda considerável presença de óxidos, carbonatos e sulfatos. É por isso, que os elementos minerais mais estudados como K, Ca, Mg, Na, Al, Mn, Zn, B, Fe, etc., representam entre 45 a 70% das cinzas. Isso depende muito da espécie, do tipo de tecido estudado e dos cuidados analíticos. Muitas vezes o teor de cinzas se mostra elevado, não porque ele realmente seja alto, mas porque a amostra não foi completamente queimada e algum carbono orgânico está ainda presente. Nessa situação, esse carbono estaria sendo pesado e calculado como se fosse elemento mineral. Outras vezes, o analista não toma os cuidados com o manuseio e a pesagem das cinzas após queima. A amostra de cinzas é higroscópica e adsorve umidade do ar. Dessa vez, o analista estará medindo umidade do ar como se fossem elementos minerais. Há muito a se cuidar nos laboratórios.

A partir de muitos trabalhos publicados e encontrados na literatura, foi possível se compor um quadro, com faixas de variações usuais para os elementos minerais e para as cinzas das madeiras dos eucaliptos. Estamos falando definitivamente nos conteúdos minerais presentes na própria constituição química das madeiras. Se amostrarmos cavacos em pátios de cavacos de madeira, esse valor poderá ser maior devido às contaminações com terra, poeiras químicas, casca, resíduos de desgaste de equipamentos, etc. É fato conhecido a

contaminação com ferro da madeira durante sua picagem ou sua moagem analítica. Muitas vezes, exigem-se materiais em titânio para se fatiar as amostras, para evitar a contaminação com o elemento ferro. Outras vezes, a contaminação pode ocorrer com os reagentes químicos ou cadinhos utilizados nas determinações laboratoriais. Sempre que as concentrações de elementos forem muito baixas, como ela ocorre com diversos dos elementos minerais da madeira, todo cuidado deve ser colocado nas procedimentos analíticos.

Faixas mais usuais de elementos minerais em madeiras de eucaliptos

	Faixa de Amplitude	**Valores mais freqüentes**
Teor de Cinzas	0,2 a 1,1 %	0,3 a 0,7 %
Elementos, em ppm		
N	500 - 1800	800 - 1400
P	20 - 300	100 - 150
K	600 - 2000	800 - 1300
Ca	400 - 2000	500 - 900
Mg	100 - 500	150 - 300
Fe	5 - 90	10 - 30
Al	20 - 150	40 - 70
Si	15 - 65	15 - 45
Cl^-	150 - 800	300 - 600
Na	80 - 600	200 - 400
Mn	15 - 100	15 - 50
Cu	1 - 8	1 - 5
Ni	0,3 - 10	4 - 5
Co	10 - 40	15 - 20
Zn	1,5 - 8	2 - 6
Pb	3 - 10	2 - 5
Ba	2 - 30	10 - 15
Mo	1,5 - 10	2 - 4
Cr	15 - 40	15 - 25

Cd	1 - 5	2 - 3
Ti	0,2 – 0,5	0,2 – 0,3
V	0,2 – 0,8	0,3 – 0,5

Em função das facilidades que hoje os programas estatísticos oferecem ao pesquisador, muitos autores realizaram interessantes estudos, tentando correlacionar os teores de íons minerais entre si e com características silviculturais das florestas. Uma coisa é absolutamente verdadeira: se a madeira contem um elevado teor de algum dos íons referidos, não significa que terá necessariamente teores elevados dos demais. Quando muito de um ou de outro. Já o teor de cinzas e as concentrações de Ca, Mg e K nas madeiras costumam se relacionar bem. Quanto maiores forem os teores desses íons, maior o teor de cinzas na madeira. Algo mais ou menos óbvio. Afinal, com concentrações usuais de cerca de 500 a 900 ppm de cálcio e de 800 a 1300 ppm de potássio, só nesses dois íons, a madeira já tem cerca de 0,2% de seu peso. Em geral, esses dois íons representam entre 20 a 50% das cinzas das madeiras dos eucaliptos. Por essa razão, as correlações positivas encontradas entre teores de cinzas e teores de cálcio e de potássio na madeira.

Alguns estudos procuram mostrar dados dendrométricos das árvores com os coeficientes de utilização dos elementos minerais (kg de biomassa madeira / kg de um determinado íon nutriente presente na mesma madeira). Há uma enorme concordância entre os pesquisadores: é verdadeiro se afirmar que as árvores mais volumosas e mais pesadas, que produzem mais madeira, possuem também maior eficiência nutricional para a quase totalidade dos elementos minerais nutrientes. Essas correlações são fracas para sódio, alumínio e cloretos, que não são nutrientes. Entretanto são fortes para cálcio, potássio, magnésio, ferro, cobre, manganês. Conforme já mencionado anteriormente, árvores produtivas, que são altamente eficientes em produção de peso e de volume de madeira, são também mais eficientes no uso dos elementos nutrientes.

12. RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES FINAIS

Após as diversas considerações e reflexões apresentadas, desde as conceituais até os exemplos numéricos, achei importante encerrar esse capítulo do nosso livro com uma série de recomendações e sugestões de ações. Queremos com isso incentivar aos plantadores de florestas de eucaliptos que busquem a sustentabilidade da capacidade produtiva de seus sítios florestais. Pretendo voltar a esse tema em outro capítulo de nosso livro, com muitos detalhes mais. Estou aproveitando o momento para colocar uma série de sugestões que considero importantes, algumas são pontos de vista pessoais, outras estão alicerçadas em muitos artigos apresentados por muitos pesquisadores, tanto de empresas como de universidades.

Uma vez que queremos assegurar a sustentabilidade da produtividade florestal e garantir a perpetuidade da capacidade do sítio, nada melhor do que trabalhar por isso. Se não fizermos isso, estaremos praticando reflorestamento extrativista, e não é o que gostaríamos para o nosso setor de base florestal. Para evitar que aconteça o extrativismo puro e degradante existem os cursos de engenharia florestal, as academias e as empresas pesquisando a sustentabilidade e a perpetuidade.

Os plantadores de florestas de eucaliptos estão sempre argumentando que as áreas plantadas com essas árvores por muitos e muitos anos, não interferem na produtividade de outras culturas agrícolas que venham a se estabelecer depois nesses sítios. Argumentam que há menor erosão nas áreas reflorestadas do que em pastagens e em lavouras intensivas mal manejadas. Sempre lembram que as florestas de eucalipto formam uma manta orgânica que reveste e protege o solo, sombreando-o, retendo umidade, fornecendo nutrientes e colaborando para a microbiologia do solo. Ao falar em microrganismos, lembram-se que a microbiologia do solo das florestas plantadas é muito mais rica e diversificada do que a encontrada em cultivos de milho, café, trigo, etc.

Os reflorestadores estão sempre reforçando o papel da ciclagem dos nutrientes e o importante papel do sub-bosque na preservação e conservação do solo.

Dizer é uma coisa, pensar e saber é outra, mas praticar é algo bem diferente. Os plantios de eucalipto podem realmente fazer tudo isso de maravilhoso, mas para que isso aconteça é preciso combinar e praticar economia, ecologia e tecnologia. É preciso se entender bem toda a dinâmica que relatamos ao longo desse capítulo. É preciso também que pratiquemos ações que minimizem os impactos negativos e maximizem os ganhos ambientais. É preciso atuar de forma produtiva e também com visão conservacionista.

Nesse capítulo, diversas considerações foram feitas e que podem ser avaliadas pelos plantadores de florestas, principalmente por aqueles que plantam árvores de eucalipto com visão de curto prazo. Isso é válido principalmente para aqueles que só estão atentos para os fluxos de caixa, preocupados em minimizar custos e maximizar receitas. Nós já estamos falando em minimizar impactos e maximizar ganhos. Na prática da sustentabilidade, os ganhos são o somatório de resultados ambientais, sociais e econômicos. Sem uma adequada política de sustentabilidade, o sítio florestal vai aos poucos se desgastando e no futuro estará pobre, exausto e decadente. É fácil entender isso. Vamos voltar à nossa floresta exemplo. Vamos também nos basear nas concentrações mais usuais dos elementos minerais presentes nas madeiras dos eucaliptos. As mesmas apresentadas no quadro recém mostrado quando relatamos as composições de elementos minerais presentes nas madeira de eucaliptos. Pela nossa floresta exemplo, na sua colheita, ela produziria 140 toneladas secas de madeira por hectare. Se apenas e tão somente a madeira for retirada, é possível se encontrar as quantidades exportadas de cada um desses elementos. Eles estariam deixando o sítio, a cada colheita. Quantas colheitas mais fizermos, sem nada fazer para garantir a sustentabilidade, mais estaremos exportando sem repor, correto? Nesse mesmo quadro, estão apresentados os ingressos diários de minerais através da madeira em uma fábrica de celulose com capacidade de 2000 toneladas por dia de

produção. Isso para se ter muma idéia do que uma fábrica recebe de minerais com a madeira.

Exportações usuais de minerais em uma floresta de eucalipto com produção de 280 m^3/hectare ou cerca de 140 toneladas secas de madeira / hectare
Ingressos diários de minerais em uma fábrica de celulose de 2000 adt/dia capacidade

Elementos ou cinzas	**Quantidade exportada por hectare (kg/ha)**	**Ingresso diário de minerais na composição da madeira em uma fábrica de celulose de 2000 adt/dia (em kg/dia)**
Cinzas	490 a 980	14000 a 28000
N	112 a 196	3200 a 5600
P	14 a 21	400 a 600
K	112 a 182	3200 a 5200
Ca	70 a 126	2000 a 3600
Mg	21 a 42	600 a 1200
Fe	1,4 a 4,2	40 a 120
Al	5,6 a 9,8	160 a 280
Si	2,1 a 6,3	60 a 180
Cl^-	42 a 84	1200 a 2400
Na	28 a 56	800 a 1600
Mn	2,1 a 7	60 - 200
Cu	0,14 a 0,7	4 a 20
Ni	0,56 a 0,7	16 a 20
Co	2,1 a 2,8	60 - 80
Zn	0,28 a 0,84	8 - 24
Pb	0,28 – 0,7	8 - 20
Ba	1,4 – 2,1	40 - 60
Mo	0,28 – 0,56	8 - 16
Cr	2,1 – 4,2	60 - 120
Cd	0,28 – 0,42	8 - 12
Ti	0,03 – 0,04	0,85 – 1,14
V	0,04 – 0,07	1,14 - 2

Do exposto até agora, podemos concluir que:

- a remoção de elementos minerais do sítio florestal pela exportação com a madeira ou madeira mais casca é definitivamente grande e importante;
- dificilmente as adubações minerais, por melhor formuladas e aplicadas que estejam sendo feitas, conseguirão repor integralmente os níveis de todos esses elementos minerais extraídos;
- uma adequada e inteligente gestão dos balanços nutricionais dos bioelementos vitais às plantas das florestas é mais do que exigida para garantir a perpetuidade da produtividade da área florestal;
- os minerais que ingressam em uma unidade industrial com a composição da madeira, por exemplo, em uma fábrica de celulose, são em enormes quantidades;
- cuidados especiais devem ser tomados ao longo de toda essa rede florestal e industrial para monitoramento, e para avaliações dos impactos e mitigação dos negativos.

A partir dessas impressionantes cifras numéricas, e com base em tudo que relatamos, decidi apresentar algumas recomendações e considerandos, que não estão em ordem de importância, apenas em ordem didática de seqüenciamento de eventos:

Recomendação 01: Amostragens e análises

Tendo em vista as grandes variações que podem ser encontradas em função de amostras mal coletadas ou mal feitas, não começar qualquer trabalho de balanço nutricional, análise de solos e de plantas e recomendações de adubações, se não estiver de posse de dados analíticos confiáveis. Avaliar criteriosamente as formas de se colher as amostras, as suas quantidades, e estabelecer as repetições necessárias para mínimo erro. Cuidados especiais com os reagentes químicos que devem ser de boa qualidade, com os procedimentos estatísticos, com as

aferições dos equipamentos, com suas calibrações freqüentes e com a limpeza e exatidão da instrumentação.

Sugere-se a participação em programas de ensaios multi-laboratoriais ou de redes metrológicas para se monitorar a qualidade dos resultados analíticos. Elementos como o fósforo, os cloretos e os micronutrientes são difíceis de serem medidos, por isso todo cuidado é pouco. Sugere-se aos leitores visitar as páginas de internet a seguir de programas metrológicos e de redes de monitoramento de laboratórios (www.redemetrologica.com.br ; www.rmmg.com.br , www.remesp.org.br).

Recomendação 02: Respeitar o solo , a água e os nutrientes

O solo não é apenas o substrato onde são plantadas as árvores. Ele está longe de ser apenas um suporte e um lugar para a floresta crescer e se fixar. As análises químicas e físicas do solo ajudam a entendê-lo, mas estão longe de conseguir explicar tudo que ocorre no solo. O plantador de florestas precisa preservar ao máximo esse patrimônio, evitar a erosão, estimular a microbiologia e procurar reter a umidade no solo. Precisa estar sempre atento ao arraste de sedimentos por erosão, procurando conservar as partículas que compõem o solo que usa. Por isso, muito cuidado na preparação do solo, na abertura de estradas e na colheita florestal. Quando muito do solo se perde e vai embora da área, é muito difícil recuperá-lo adequadamente. Estaremos apenas remediando o problema que sobrou para nós. O problema se intensifica em terrenos mais declivosos, com 20% ou mais de declive. Nessas situações, um terreno muito bem preparado é aquele com mínima movimentação de terra. Nessas situações de ótimo, um solo perde cerca de 20 a 50 kg de sedimentos por hectare e por ano. Se ele for muito agredido pelas máquinas, com preparo irregular, sem obedecer curvas de nível, etc., essas perdas podem chegar a 20 toneladas de sedimentos perdidos por hectare e por ano. Cerca de 500 a 1000 vezes mais, um absurdo que continua a acontecer por toda nossa agricultura. Isso

explica o porque sempre afirmo que a maior poluição de nossos rios não é a causada pelas fábricas, nem pelas cidades, mas pela erosão dos solos. Basta olhar a cor e a turbidez das suas águas; vermelha, barrenta, revelando a incompetência de muitos que trabalham com a terra.

Sempre perdemos solo, por qualquer que seja a forma de preparo do mesmo nas operações florestais. Temos que medir isso sempre, monitorar nossas práticas florestais e tentar minimizar as perdas. Temos também que evitar a compactação dos solos pelas máquinas florestais; temos que buscar reter na área as águas das chuvas pelo adequado traçado das estradas e pela preparação do solo, etc., etc. Água e sedimentos estão sempre querendo fugir, escapar de nossa área florestal. Isso já é até uma lei natural. Como o solo ficou descoberto e está sendo mexido, ele fica fragilizado. Qualquer chuvinha será capaz de fazer um estrago grande. Perdem-se frações de argila, de carbono orgânico, perdem-se microrganismos, etc.

O horizonte orgânico superficial rico em nutrientes é o que primeiro fica exposto ao sol e à chuva. A micro-vida é definitivamente afetada, os nutrientes são lixiviados ou percolados, o solo pode se ressecar e se compactar: todas situações que devemos evitar ou minimizar. Infelizmente, poucos na agricultura estão atentos a isso.

Cabe ao plantador de florestas entender tudo isso e procurar acertar e adequar suas operações. Ele deve fugir do uso do fogo, do preparo intensivo do solo e do uso de maquinário pesado e compactador de solo. O fogo destroe a camada orgânica e a micro-vida, expõe o solo ao sol e à chuva. O fogo é uma arma voltada para nós próprios. Há algumas décadas atrás se arava e se gradeava o solo para o plantio de florestas. A erosão era absolutamente incrível. Um desperdício nos custos e na agressão ao solo. Felizmente aprendemos a fazer um mínimo preparo, que protege mais o solo e evita a erosão. Sabemos que precisamos preparar o solo, as raízes das plantas dos eucaliptos crescem melhor com o solo afofado. O arranque inicial das mudas é maior com um solo melhor preparado. As mudas formam raízes rapidamente, para depois crescer em altura e formar copa, vencendo a

competição com outra vegetação que está também tentando se estabelecer, e que chamamos de mato.

O cultivo mínimo consiste em mínimas operações no solo, visando a mínima agressão sobre ele. Há inúmeras formas de se praticar cultivo mínimo. Em terrenos declivosos, abrem-se apenas covas de 30 x 30 x 40 cm e plantam-se nelas as mudas, uma por cova. É um cultivo bom para o solo, mas não tão bom para as mudinhas. Elas prefeririam um solo mais afofado, mas temos que compatibilizar o desejo das mudas, com o que será bom para o solo. Em áreas que permitem mecanização, faz-se o sulcamento do terreno ("rippening"). Usam-se um, dois ou três sulcadores em linha. Quanto menor a movimentação de terra, melhor para o solo. Desde que o sulco cumpra a função de afofar a terra e quebrar camadas impermeáveis que o solo possui, já estaremos fazendo a nossa parte. Caberá então às mudinhas de eucalipto corresponder e fazer a parte delas.

Preparar o solo é essencial, mas sempre implica em perdas de solo. Devemos então preparar ao mínimo (coveamento ou sulcamento). No caso do sulcamento/sub-solagem, executá-lo com sabedoria, em nível ou o mais próximo dele. Mesmo que depois plantemos as mudas no sentido "morro abaixo". Isso ajuda a reter mais água no solo e diminui a erosão que poderia ocorrer nos sulcos devido à enxurrada caminhando por eles como canais de escoamento d'água. A água que cai como chuva precisa penetrar no solo e não correr sobre ele, escapando da área florestal. A manta orgânica ajuda a reduzir o efeito erosivo de desagregação do solo pelo impacto das gotas da chuva. Ela também ajuda a reter e a infiltrar a água. Solos compactados não absorvem bem a água, por isso é importante que mantenhamos bem distribuída a serapilheira e os resíduos de colheitas. Estaremos ajudando a melhorar esse solo frágil.

Voltaremos a discutir esse assunto em outros capítulos de nosso livro virtual.

Recomendação 03: Entender a ciclagem de nutrientes e formular adubações com base em balanços nutricionais envolvendo: análises de solos, das serapilheiras, dos resíduos da colheita; os efeitos de outras vegetações e da micro-vida do solo; as perdas de nutrientes por exportação de madeira, casca, copa ou por erosão, lixiviação, percolação.

A produtividade da floresta plantada e a perpetuidade do ecossistema florestal estão intimamente relacionadas ao nosso entendimento e ao respeito à ciclagem dos nutrientes e ao conhecimento das exportações de nutrientes. Estudá-las na região onde estamos reflorestando e para as espécies ou clones sendo plantados é uma exigência básica. Por isso, cuidem bem da serapilheira. É preciso respeitá-la em todas as operações florestais, quer seja na colheita, no preparo do solo, nas roçadas, etc.

Recomendação 04: Realizar uma colheita florestal com a máxima eco-eficiência

A colheita florestal é algo muito impactante, principalmente quando realizada de forma mecanizada. Ela favorece a compactação do solo, desnuda a área, favorecendo a insolação direta e o rápido escoamento das chuvas.

Logo de início, a primeira das recomendações para a colheita é o muito bem feito planejamento dessa operação. O cortador de árvores adora ir para a floresta e cortar tudo de uma vez, quanto mais rápido e com o menor manuseio das máquinas, melhor ele acha que colheu a floresta. Ele não gosta de transportar suas máquinas pesadas e seu pessoal de um lado para o outro. Por isso, prefere cortar o máximo que conseguir, o que ele acredita ser de máxima eficiência. Em custos isso pode ser verdadeiro, mas não é bom para o ecossistema. Melhor seria a programação do corte em mosaicos, tendo na mesma área talhões de diferentes idades de crescimento. Isso permitiria sempre se ter talhões vegetando e com árvores, da mesma forma que talhões sendo

colhidos ou sendo plantados. A paisagem seria menos agredida e o ambiente também.

Cabe também ao cortador de árvores uma adequada gestão dos resíduos da colheita, favorecendo sua distribuição na área para reduzir o impacto da abertura e exposição do solo. A antiga prática de se enleirar e se queimar os resíduos, espero que já esteja banida definitivamente nas nossas florestas de eucaliptos. Era um grande erro para a natureza.

O colhedor de árvores deve entender que ele tem três clientes importantes e não apenas um. O que ele conhece bem é o que lhe paga pelo serviço e compra a madeira e outros produtos da floresta. Mas ele possui dois clientes mais. O mais direto é o plantador da nova floresta, se a área for ser reformada ou conduzida. Quanto mais organizada for a colheita, com solos menos compactados, com resíduos bem distribuídos, com mínima quantidade de toras de madeira perdidas na área, melhor será a satisfação do plantador da nova floresta. Ele ficará agradecido pelo bom serviço e terá seus custos reduzidos. O outro cliente é o meio ambiente. A mãe natureza precisa ser privilegiada pelo colhedor florestal, evitando sua degradação.

Recomendação 05: Fazer uma gestão eco-eficiente dos resíduos da colheita

Já discutimos bastante sobre as vantagens de se deixar no campo os resíduos da colheita, incluindo copa e casca, principalmente. Entretanto, nem tudo é um mar de rosas. A quantidade a manusear é enorme, entre 15 a 30 toneladas secas de resíduos por hectare. Se falarmos em resíduos úmidos, na forma como eles se encontram na colheita, esse número mais que dobra. Os resíduos mal organizados prejudicam nas operações da reforma da floresta ou na condução das brotações. Eles podem inclusive retardar o crescimento inicial da nova floresta. Se os resíduos cobrirem as cepas, elas têm dificuldades para

soltar seus brotos e muitas não vingam. Se uma nova floresta for plantada através plantio de mudinhas, o arranque inicial poderá ser prejudicado se as mudas ficarem muito próximas aos resíduos. Como eles possuem altas relações C/N e C/P, a tendência é a sua decomposição competir por nitrogênio e por fósforo com as mudinhas recém plantadas. Há também estudos, como já vimos, que revelam uma certa alelopatia causada pelos resíduos, se eles formarem um "mulching" em contato com as mudinhas. Isso porque possuem compostos tóxicos que existem para evitar o ataque de fungos saprofíticos ou bactérias às plantas enquanto vivas. Por essas razões , não basta apenas que o nossos amigos colhedores de florestas e plantadores de árvores deixem os resíduos da colheita no solo. Eles precisam dispô-los e organizá-los. De preferência, deixar os resíduos nas entrelinhas, alinhados em nível, para reter água e reduzir a formação de enxurradas. Quando se plantar em covas, afastá-los das mudas. Quanto às raízes que ficaram da colheita, elas estão organizadamente dispostas no solo. Não devemos pensar em removê-las, pois elas são ricas em nutrientes, que mais dia acabarão sendo disponibilizados ao solo.

Restos de colheita espalhados no solo e área com preparo mínimo para plantio

Há empresas que trituram os resíduos e procuram incorporá-los ao solo. Outras os deixam espalhados sobre a área, procurando apenas afastá-los um pouco da linha de plantio.

Muitas empresas acreditam que devam limpar toda o resíduo da colheita antes do novo uso do solo. Mesmo que não o queimem, acabam empilhando-o em enormes pilhas inúteis que ocupam espaço do terreno e servem para abrigar insetos e animais peçonhentos. Acumularão desnecessariamente os nutrientes em áreas pontuais na floresta e que pouco efeito terão na produtividade da nova floresta a ser plantada.

Deixar os resíduos da colheita é especialmente útil em solos arenosos pobres, com baixo teor de carbono orgânico. Esses solos têm baixa quantidade de argila e são muito ineficientes para reter umidade e nutrientes. O carbono humificado que resultar da decomposição dos resíduos ajudarão bastante na melhoria desses solos. Os resíduos são úteis também em solos declivosos, sujeitos à erosão acentuada em dias de chuva forte. Nesses solos, é muito fácil se perder a adubação e sedimentos, devido à lâmina de água que se forma correndo para baixo nos dias chuvosos. Os resíduos também evitam a percolação de nutrientes para as camadas mais profundas desses solos muito porosos. A manutenção dos resíduos da colheita e da serapilheira acumulada ajudam muito esses solos arenosos. Mesmo que tenhamos uma competição por nutrientes como N e P pelos microrganismos, mais dia ou menos dia esses organismos morrerão e seus conteúdos nutritivos poderão ser capturados pelas raízes finas das árvores dos eucaliptos.

Quando um plantador de árvores aduba as mudas no plantio, ele está cumprindo um papel importante em sua missão, mas isso não é tudo, já sabemos disso. Será muita ingenuidade dele acreditar que adubando estará resgatando a fertilidade original do solo. Tampouco a terra

adubada recuperará muitas de suas propriedades perdidas ao longo de centenas de anos de uso intenso com agricultura, pastagens e finalmente reflorestamento. Empresa alguma consegue repor por adubação o que se perde de solo ou por exportação com os produtos da floresta, ou por erosão. Todas as movimentações que fazemos sobre o solo acabam causando lesões que precisamos sempre estar tratando. É comum as máquinas pesadas da colheita destruírem a serapilheira. É comum também que muita da terra boa superficial seja levada embora aderida aos pneus ou junto com as toras carregadas nos caminhões. Aqueles que manuseiam suas máquinas e carregam as toras podem muito bem cuidar para evitar colocar terra fértil, serapilheira e resíduos da colheita (folhas, galhos e casca) junto com as toras nos caminhões. Toda essa riqueza, carregada por engano, ao chegar às fábricas é tratada como lixo ou resíduo. Muitas vezes acabam em aterros misturados com outros resíduos químicos. Um desperdício que muitos não percebem, pois sempre fizeram assim.

Reunindo tudo que até agora dissemos sobre os resíduos da colheita, podemos dizer que eles são vantajosos para a nova floresta porque:

- possuem nutrientes em sua composição e que permanecem na área florestal;
- reduzem o crescimento do mato e de plantas invasoras que competem com as mudinhas novas;
- melhoram a infiltração de água no solo;
- melhoram a umidade do solo, especialmente na superfície, onde se desenvolvem as raízes finas muito sensíveis ao ressecamento;
- reduzem as enxurradas das chuvas;
- reduzem a evapo-transpiração da área;
- reduzem as perdas de solo;
- melhoram a retenção de nutrientes devido ao húmus que se forma pela decomposição dos resíduos;
- melhoram a micro-vida e a atividade biológica do solo;
- melhoram as características físicas do solo;

- aumentam a quantidade de carbono orgânicos nos solos muito degradados onde são plantadas as florestas de eucalipto;
- protegem o solo durante e após a colheita.

Recomendação 06: Procurar trabalhar com rotações mais longas

Hoje no Brasil, o tempo de formação de uma floresta comercial para produção de carvão vegetal, celulose, aglomerados ou lenha varia entre 6 a 8 anos. Esse tempo varia em função da qualidade do sítio, do material genético plantado, do espaçamento e das práticas silviculturais adotadas. Sabemos que quanto mais freqüentes forem as intervenções pesadas sobre o solo, como colheitas e plantios, mais rapidamente ele perde seus nutrientes e seus sedimentos. Se a rotação for alongada, com mais tempo para a floresta se beneficiar da ciclagem dos nutrientes, melhor para o ecossistema como um todo. Por isso, recomendo fortemente aos nossos reflorestadores que procurem trabalhar com rotações mais longas e com espaçamentos mais abertos (por exemplo, rotações de 9 anos com espaçamentos 3 x 3 m). Com idade maior, a floresta terá maior proporção de xilema (madeira), as árvores serão maiores e mais valiosas, a colheita será facilitada, a densidade da madeira será algo maior, a ciclagem dos nutrientes melhorada e o solo e a manta orgânica mais preservados. Bom para a economia e para o ecossistema. Há também a possibilidade de se trabalhar com desbastes e com um manejo diferenciado para múltiplos usos, ao invés de corte raso por talhadia simples. Também uma forma de manejo que deverá ganhar cada vez mais espaço na eucaliptocultura.

Recomendação 07: Desenvolver por melhoramento genético árvores mais produtivas e mais eficientes na absorção e utilização dos nutrientes. Com isso, estaremos protegendo mais a natureza e exportando menos minerais para as fábricas. Com menor entrada de elementos não processuais para as fábricas, a operação industrial ficará

mais facilitada. Veremos isso brevemente em novo capítulo do nosso livro.

Recomendação 08: Vislumbrar o longo prazo e não focar somente os custos das operações presentes

A moderna silvicultura está muito bem fundamentada em operações que elevaram substancialmente a produtividade das florestas. Todos admiramos o que conseguimos no Brasil em tecnologia florestal em tão curto espaço de tempo. Tem ocorrido entretanto uma situação bastante intrigante. A ciência e as pesquisas acadêmicas mostram produtividades potenciais de 50 ou 60 m^3/ha.ano, mas não são esses números que as empresas conseguem nas suas florestas. No crua realidade do campo, a produtividade está entre 40 a 45 m^3/ha.ano de tronco comercial com casca, e raramente maior que isso. Há muita especulação sobre as razões desse fato. Comenta-se muito sobre as formas de gestão, com exagerado foco no menor custo possível, para se ter madeira barata para as fábricas. Isso agrada aos gestores, que gostam de ter números atrativos em seus balanços financeiros anuais. Será que madeira barata será conseguida por gastos menores na implantação e no manejo da floresta ao longo da sua rotação? Será que reduzir custos operacionais não é algo muito diferente de se otimizar custos florestais? Com certeza, as menores produtividades da prática em relação às da teoria devem estar associadas em parte ao que estamos discutindo nesse capítulo, até de forma repetitiva para que nossos conceitos sejam bem entendidos pelos leitores.

Gostaria de colocar a seguir uma parte de uma frase de meu colega de turma da ESALQ-USP, nosso líder florestal Nelson Barboza Leite, extraída da coluna "Silviculture-se" do informativo Rede SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura de 29.09.2005 : "... é de extrema urgência que as produtividades florestais obtidas no campo sejam discutidas, e eventualmente questionadas, para não se perder o esforço continuado desenvolvido pela ciência na busca da viabilização e da

sustentabilidade da silvicultura brasileira e para que não se desperdicem condições de aumentar a nossa competitividade".

Há algumas práticas importantes que a agricultura desenvolveu na sua mais que milenar vida no planeta. Muitas dessas práticas sequer são utilizadas ou consideradas na moderna silvicultura. Há muito de sabedoria em muitas delas. Vejamos do que estou falando:

- Alternância de culturas em uma mesma área: não plantar sempre a mesma espécie, ou o mesmo gênero, ou o mesmo clone. A alternância de plantios com outras culturas, especialmente com leguminosas, é extremamente desejável para a sustentabilidade do sítio.

- Descanso para terra por algum tempo: coisa que os agricultores costumam fazer para deixar que se equilibrem os processos biológicos do solo.

- Plantios em mosaicos: não somente eucaliptos com eucaliptos, mas com eucaliptos de diferentes idades e materiais genéticos, mesclados com outras culturas, com matas nativas e com outras atividades agro-zootécnicas.

- Manejo para múltiplos usos: com alongamento das rotações e obtenção de diferentes tipos de produtos da mesma floresta plantada de eucalipto.

- Incentivo à agrossilvicultura: desenvolvendo culturas agrícolas intercaladas ou mescladas, preferencialmente leguminosas fixadoras de nitrogênio.

- Plantios em faixas de cultura: por exemplo, espécies florestais distintas, como eucaliptos e acácias plantadas em faixas de culturas, coisa comum de ser feita na agricultura com culturas anuais.

- Diversificação do ecossistema: pela mescla de diferentes tipos de cultivos econômicos com preservação de vegetação nativa entre as

culturas. Há países onde os grandes reflorestadores são também grandes agricultores. Isso ocorre muito em Portugal.

- Planejamento conservacionista mais eco-eficiente: evitar plantar toda a área com uma única espécie, ou um único clone, com uma única idade. Quando colhermos essa área florestal, que teima-se em fazer de uma vez só, a biodiversidade, que já não era muito, acabará sendo quase nenhuma.

Recomendação 09: Interagir com a natureza e ser muito pró-ativo.

Recomendação 10: Bom trabalho (e um conselho final, usem a ciência e o bom senso como seus aliados)

14. REFERÊNCIAS DA LITERATURA

AGROBYTE – Manual técnico de selvicultura del eucalipto. Aprovechamiento o cosecha.
Disponível em:
http://agrobyte.lugo.usc.es/agrobyte/publicaciones/eucalipto/7aprovechamiento.html
Acesso em 30.08.2005

APARICIO, J.L. Rendimiento y biomasa de *E.nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable em un suelo rojo arcilloso. Universidad Austral de Chile, Tese de M.S., 170 p., 6 anexos, 2001

ARROJA, L. ; LOURO, M. ; CAPELA, I. Gestão integrada de resíduos em fábricas de pasta para papel em Portugal. O Papel, Suplemento Técnico Aveiro 5(1): 48-55, 2005

BARROS, N.F. ; NOVAIS, R.F. ; CARMO, D.N. ; NEVES, J.C.L. Classificação nutricional de sítios florestais – Descrição de uma metodologia. Revista Árvore 10(1): 112-120 , 1986

BARROS, N.F. ; NEVES, J.C.L. ; NOVAES, R.F. Plantações de eucalipto e a fertilidade do solo. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo 29(1): 18-21 , 2004

BARROS, N.F. ; PEREIRA, A . R. ; BORBA, A . M. Liberação de nutrientes minerais mediante a queima de leiras. Revista Árvore 6(1): 84-89 , 1982

BARROS, N.F.; RIBEIRO, A .; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; TÓTOLA, M.R.; NOVAIS, R.F. Manejo do solo e a sustentabilidade da eucaliptocultura. Reunião Técnica sobre Fomento Florestal. Apresentação em Power Point, 80 slides, 2005.
Disponível em: www.sif.org.br
Acesso em 03.10.12005

BELLOTE, A .F.J. ; SARRUGE, J.R. ; HAAG, H.P. ; OLIVEIRA, G.D. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* em função da idade: 1 – Macronutrientes. IPEF 20: 1-23, 1980

BELLOTE, A .F.J. ; SARRUGE, J.R. ; HAAG, H.P. ; OLIVEIRA, G.D. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* em função da idade: 2 – Micronutrientes. IPEF 20: 27-45, 1980

BELLOTE, A .F.J. ; SARRUGE, F.R. ; HAAG, H.P. ; OLIVEIRA, G.D. Absorção de macronutrientes e de micronutrientes pelo *Eucalyptus grandis* em função da idade. Silvicultura 32: 633-642, 1983

BELLOTE, A . F. J. , SILVA, H.D. Nutrição e crescimento de plantações de *Eucalyptus*. Em: Simpósio IPEF sobre Fertilização e Nutrição Florestal, 8p. , 1999

BELLOTE, A . F. J. ; SILVA, H.D. ; FERREIRA, C. A . ; ANDRADE, G.C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. Boletim de Pesquisa Florestal, Embrapa Florestas, nº 37: 99-106, 1998

BESKOW, J.M. ; KREWER, C. ; RESSEL F.º ; E.H. , NARVAES, I.S.; SCHUMACHER, M.V. Relação entre a área foliar e o diâmetro a altura do peito (DAP) de um povoamento de *Eucalyptus grandis*. Anais do Ciclo de Atualização Florestal do Cone-Sul, Universidade Federal de Santa Maria, p.182-187, 1999

BIGELOW, S. ; EWEL, J.J. ; HAGGAR, J.P. Enhancing nutrient retention in tropical tree plantations: no short cuts. Ecological Applications 14(1): 28-46, 2004

BLUM, W.E.H. Ecossistemas florestais: ciclo dos bioelementos. Em: Simpósio sobre Biologia de Ecossistemas", 13p. , 1976

CALDEIRA, M.V.W. ; RONDON NETO, R.M. ; SCHUMACHER, M.V. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia negra (*Acacia mearnsii*). Revista Árvore 26(5): 615-620 , 2002

CÂMARA, C.D. Efeitos do corte raso de eucalipto sobre o balanço hídrico e a ciclagem de nutrientes em uma microbacia experimental. Dissertação de Mestrado. ESALQ – Universidade de São Paulo. 91 p. , 1999

CÂMARA, C. D. ; LIMA, W.P. ; VIEIRA, S. A . Corte raso de uma plantação de *Eucalyptus saligna* de 50 anos: impactos sobre a ciclagem de nutrientes em uma microbacia experimental. Scientia Forestalis 57: 99-109 , 2000

CARDOSO, G.V.; ROSA, C.A .R.; GUARIENTI, A .F.; PEDRAZZI, C.; SOUZA, M.C.H.; FRIZZO, S.M.B.; FOELKEL, C.E.B Adequação de metodologia amostral de madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação do teor de cinzas. 34° Congresso Anual da ABTCP, 8 p., 2001
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202001a.pdf
Acesso em: 02.10.2005

CATCHPOOLE, S. ; DOWNES, G. ; READ, S.M. The effect of salt on wood and fibre formation in eucalyptus. Rural Industries Research and Development Corporation.
Disponível:
http://www.rirdc.gov.au/reports/AFT/00-162.pdf
Acesso em 28.08.2005

CHITOLINA, J.C.; SILVA, F.C. ; ABREU, M.F. ; PALMA, J.B. ; CARMO, J.B. Decomposição da matéria orgânica de compostos de lixo urbano e posterior preparo de extratos nítrico-perclórico. Circular Técnica n° 1 - Embrapa Informática e Agropecuária ISSN 1677-8480. 8p. , 2001

CORRÊA NETO, T.A . ; PEREIRA, M.G. ; CORREA, M.E.F. ; ANJOS, L.H.C. Deposição de serapilheira e mesofauna edáfica em áreas de eucalipto e floresta secundária. Floresta & Ambiente 8(1): 70-75 , 2001

COSTA, G.S. ; CUNHA, G.M. ; GAMA-RODRIGUES, A . C. Perda de massa e liberação de N, P, K, Ca e Mg da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* na região norte fluminense. Anais do FertBio 2000, Santa Maria. 3 p. , 2000

COSTA, L.M. Manejo de solos em áreas reflorestadas. Capítulo do livro "Relação Solo - Eucalipto" , UFV , p. 237-264, 1990

FARIA, F. CENIBRA – Um projeto sustentável. Cenibra - Superintendência Florestal, Apresentação em Power Point, 51 slides, 2005

FARIA, G.E. ; BARROS, N.F. ; NOVAIS, R.F. ; LIMA, J.C, ; TEIXEIRA, J.L. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis* em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. Revista Árvore 26(5): 577-584 , 2002

FLORES, D.M.M.; CARDOSO, G.V.; FOELKEL, C.E.B.; FRIZZO, S.M.B. Amostragem de árvores para estudos tecnológicos da madeira para produção de celulose: tamanho da amostra, número mínimo de repetições e variabilidade das propriedades para um clone de *Eucalyptus saligna*. 32° Congresso anual da ABTCP, 18 p., 1999
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%201999a.pdf
Acesso em 06.10.2005

FOELKEL, C. ; ASSIS, T.F. New pulping technology and *Eucalyptus* wood : the role of soil fertility, plant nutrition and wood ion content. In: Proceedings of CRC for Temperate Hardwood Forestry Conference: Eucalypt Plantations – Improving Fibre Yield and Quality , Hobart. P. 10-13, 1995

FOSSUM, T. ; HARTLER, N. ; LIBERT, J. The inorganic content of wood. Svensk Papperstidning 75(8): 305-309, 1972

FREDDO, A . ; FOELKEL, C.E.B. ; FRIZZO, S.M.B. ; SILVA, M.C.M. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada. Ciência Florestal 9(1): 193-209, 1999

FREITAS, R. ; SCHUMACHER, M.V. ; CALDEIRA, M.V.W. ; SPATHELF, P. Biomassa e conteúdo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus grandis* plantado em solo sujeito à arenização no município de Alegrete – RS. Biomassa & Energia 1(1): 93-104, 2004

FRIES, C. The effect of eucalypts on soil quality. Anais Seminário "O Eucalipto, a Água e o Solo", Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais. P. 27-32, s/d

GAITAN, J.J.; PENÓN, E.A. ; COSTA, M.C. Distribuición de raices finas de *E.globulus spp. maidenii* y su relación com algunas propiedades del suelo. Ciência Florestal 15(1): 33-41, 2005

GAMA-RODRIGUES, E.F. ; BARROS, N.F. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamentos de eucalipto. Anais do 3º Encontro Brasileiro sobre Substâncias Húmicas, Universidade Federal de Santa Maria, p. 220-222, 1999

GAMA-RODRIGUES, A . C. ; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia. Revista Árvore 26: 193-207, 2002

GATTO, A . ; BARROS, N.F. ; NOVAIS, R.F. ; COSTA, L.M. ; NEVES, J.C.L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore 27: 635-646 , 2003

GONÇALVES, J.L. ; GAVA, J.L. ; WICHERT, M.C.P. Sustainability of wood production in eucalypt plantations of Brazil. In: Proceedings of the Workshop "Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests", p. 03-14, 2004

GONÇALVES, J.L.M. ; MORO, L. Uso da cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. IPEF 48/49: 28-37 , 1995

GONÇALVES, J.L.M. ; STAPE, J.L. ; LACLAU, J.P. ; WICKERT, M.C.P. Water and nutrient interplay and forest productivity in the tropics. International Symposium "Forest Soils under Global and Local Challenges: from Research to Practice". 66 slides.
Disponível em:
http://www.pierroton.inra.fr/IEFC/manifestations/soilsymposium2004/LeonardoGoncalves.pdf
Acesso em: 10.08.2005

GONÇALVES, J.L.M. ; STAPE, J.L. ; WICHERT, M.C.P. ; GAVA, J.L. Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. Capítulo do livro "Conservação e cultivo de solos para plantações florestais", p.131-204, IPEF, 2002

GOYA, J.F. ; FRANGI, J.L. ; DALLATEA, F. ; MARCO, M. A . ; LAROCCA, F. Biomasa, productividad y contenido de nutrientes en plantaciones de *E.grandis* em el NE de la província de Entre Rios. Anais de las XII Jornadas Forestales de Entre Rios. 19 p., 1997

GOYA, J.F. ; FRANGI, J.L. LAROCCA, F. ; MARCO, M.A . Ciclo de nutrientes em plantaciones de *Eucalyptus grandis* de diferentes edades em la província de Entre Rios.
Disponível em:
http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/pdf/2001/posters%202001/128%20poster%2011_%20Goya%20Nutrientes.pdf

Acesso em 30.08.2005

HIGASHI, E.N. ; SILVEIRA, R.L.V.A .; MOREIRA, A .; FRANÇA, F.S. ; GONÇALVES, A .N. Exportação de macronutrientes através da exploração da madeira de *Eucalyptus*. 1p.
Disponível em:
http://www.rragroflorestal.com.br/divulgacao/pdf/congresso2.pdf
Acesso em: 07.09.2005

INOUE, M.T. ; RIBEIRO, F. A. Fotossíntese e transpiração de clones de *E.grandis* e *E.saligna*. IPEF 40: 15-20, 1988

KOLM, L. Ciclagem de nutrientes e variações do microclima em plantações de *Eucalyptus grandis* manejados através de desbastes progressivos. Dissertação de Mestrado. ESALQ – Universidade de São Paulo. 73 p. , 2001

KOLM, L. ; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetido à prática de desbastes progressivos. Scientia Forestalis 63: 79-93, 2003

LACLAU, J.P. ; BOUILLET, J.P.; RANGER, J. ; JOFFRE, R.; GOUMA, R. ; SAYA, A . Dynamics of nutrient retranslocation in stemwood of an *Eucalyptus* clone in the Congo. In: Proceedings of the Workshop "Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests", p. 195-198, 2004

LACLAU, J.P. ; DELEPORTE, P. ; RANGER, J. ; BOUILLET, J.P. ; KAZOTTI, G. Nutrient dynamics throughout the rotation of *Eucalyptus* clonal stands in Congo. Annals of Botany 91: 879-892 , 2003

LANDSBERG, J. Physiology in forest models: history and the future. FBMIS 1: 49-63 , 2003

LEITE, N.B. Silviculture-se. Rede SBS, 1 p., 29.09.2005.

LIRA, A . C. S. ; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J.L.M. Mesofauna do solo sob eucalipto submetido a diferentes práticas de manejo do solo e em área de cerradão. Anais do VII Encontro Científico dos Pós-graduandos no CENA – USP. Resumo, 1 p. , 2002

MACKENSEN, J. ; FOLSTER, H. Study on sustainable nutrient supply in fast growing plantations – Ecological and economic implications in East Kalimantan, Indonesia . Sustainable Forestry Management Project – Tropical Forest Research. 64p., 1999

MADEIRA, M. ; MAGALHÃES, M.C. ; AZEVEDO, A .; FABIÃO, A .; PINA, J.P. ; ARAUJO, M.C. Effects of harvest residue management on productivity, organic C stock and soil characteristics in *Eucalyptus globulus* coppice stands. International Symposium "Forest Soils under Global and Local Challenges: from Research to Practice". 15 slides. Disponível em: http://www.pierroton.inra.fr/IEFC/manifestations/soilsymposium2004/Madeira.pdf Acesso em 05.09.2005

MELO, V.F. ; NOVAIS, R.F. ; BARROS, N.F. ; FONTES, M.P.F. ; COSTA, L.M. Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca, e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. IPEF 48/49: 8-17 , 1995

MELLO, S.L.M. Comparação de diferentes métodos de amostragem de raízes finas. Em: Simpósio IPEF sobre Fertilização e Nutrição Florestal, 6p. , 1999

MEERTS, P. Mineral nutrient concentrations in sapwood and heartwood: a literature review. Annals of Forest Science 59: 713-722, 2002

MINETTI, L.J. Impactos ambientais da colheita florestal. Universidade Federal de Viçosa. Apresentação em Power Point, 28 slides, 2005

MIRANDA, G.M. ; SILVA, M.L. ; LEITE, H .G. ; MACHADO, C.C. Estimativa do custo de reposição dos nutrientes exportados pela colheita da casca da madeira em povoamentos de eucalipto. Revista Árvore 26: 149-154 , 2002

MOREIRA, M.F.; BORSSATTO, I. Deposição de serapilheira em plantios coetâneos equianos de *Eucalyptus spp*. Riocell – Rio Grande Cia de Celulose do Sul, Superintendência Florestal, 7p., s/d

MOREIRA, A .; SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N. ; FRANÇA, F.S.; GONÇALVES, A .N. Exportação de micronutrientes através da exploração da madeira de *Eucalyptus*. 1p.
Disponível em:
http://www.rragroflorestal.com.br/divulgacao/pdf/congresso3.pdf
Acesso em: 07.09.2005

MORO, L. ; GONÇALVES, J.L.M. Efeito da cinza de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. IPEF 48/49: 18-27, 1995

NARVAES,. I.S. ; KREWER, C. ; RESSEL F.° , E.H. ; BESKOW , J.M. ; SCHUMACHER, M. V. Relação entre superfície foliar e a área transversal de alburno em um povoamento de *Eucalyptus grandis* em função do DAP. Anais do Ciclo de Atualização Florestal do Cone-Sul, Universidade Federal de Santa Maria, p.188-193, 1999

NOBLE, A. A .; RANDALL, P.J. How trees affect soils. Rural Industries Research & Development Corporation Publication 98/16. 129p. , 1998

NOLASCO, A . ; GUERRINI, I. ; BENEDETTI, V. Uso de resíduos como fontes de nutrientes e condicionador do solo em plantios florestais. Anais do Simpósio sobre Fertilização e Nutrição Florestal, IPEF. 32 p., 1999

NOUVELLON, Y. ; ROUPSARD, O . ; HAMEL, O . ; MOUVONDY, W. ; EPRON, D. ; BONNEFOND, J.M. ; SAINT-ANDRÉ, L. ; JOURDAN, C. ; MABIALA, A . ; DAUZAT, J. ; LACLAU, J.P. ; BOUILLET, J.P. ; BERBIGIER, P. ; IRVINE, M. ; MOUNZEO, L. Measuring carbon and water fluxes from *Eucalyptus* stands in the Congo. In: Proceedings of the Workshop "Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests", p. 199-204, 2004

NOVAES, R.F. ; BARROS, N.F. ; NEVES, J.C. Nutrição mineral do eucalipto. Capítulo do livro "Relação Solo - Eucalipto" p. 25-98, UFV , 1990

NURWAHYUDI; TARIGAN, M. Logging residue management and productivity in short rotation *Acacia mangium* plantations in Riau province, Sumatra, Indonesia. In: Proceedings of the Workshop "Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests", p. 109-119, 2004

NZILA, J.D. ; DELEPORTE, P. ; BOUILLET, J.P. ; LACLAU, J.P. ; RANGER, J. Effects of slash management on tree growth and nutrient cycling in second-rotation *Eucalyptus* replanted sites in the Congo. In: Proceedings of the Workshop "Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests", p. 15-30, 2004

O'CONNEL,A. M. ; GROVE, T.S.; MENDHAM, D.S.; CORBEELS, M.; MCMURTRIE, R.F.; SHAMAS, K.; RANCE, S.J. Impacts of inter-rotation site management on nutrient stores and fluxes and growth of eucalypt plantations in Southwestern Australia. In: Proceedings of the

Workshop "Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests", p. 79-91, 2004

OLIVEIRA, V. A. B. de Raízes e tocos de mudas de *Eucalyptus* como fontes de nutrientes para brotações. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 44p. , 1991

OLIVEIRA NETO, S.N. ; REIS, G.G. ; REIS, M.G.F. ; NEVES, J.C.L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* em resposta à adubação e ao espaçamento. Revista Árvore 27(1): 15-23 , 2003

PEREIRA, A . R. ; ANDRADE, D.C. ; LEAL, P.G.L. ; TEIXEIRA, N.C.S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *E. saligna* cultivados na região de cerrado de Minas Gerais. Revista Floresta 15: 8-16, 1984

PEREIRA, A . R. ; BARROS, N.F. ; ANDRADE, D.C.; CAMPOS, P.T. A . Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade, cultivado na região do cerrado. Brasil Florestal 59: 27-37, 1884

PEREIRA, A . B. ; VILA NOVA, N. A . ; MOREIRA, P.R. Modelo para avaliação da produção de matéria seca de fustes de *Eucalyptus grandis* em função da densidade de plantio, tempo de ciclo e energia solar disponível. Acta Scientiarum 26(4): 437-441, 2004

POGGIANI, F. Ciclo de nutrientes e produtividade de floresta implantada. Silvicultura Ano 1: 45-48, 1976

POGGIANI, F. Nutrient cycle in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations ecosystems. Silvicultural implications. IPEF 31: 33- 40, 1985

POGGIANI, F. ; COUTO, H.T.Z. ; CORRADINI, L. ; FAZZIO, E.C.M. Exportação de biomassa e nutrientes através da explotação dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. IPEF 25: 37-39 , 1983

POGGIANI, F. ; COUTO, H.T.Z. ; SUITER Fº, W. Estimativa da remoção da biomassa e dos nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* em regime de mini-rotação . Silvicultura 32: 648-651, 1983

POGGIANI, F. ; OLIVEIRA, R.E. ; CUNHA, G.C. Práticas de ecologia florestal. ESALQ – Universidade de São Paulo, Documentos Florestais 16: 1-44, 1996

POGGIANI, F. ; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. Em: Simpósio IPEF sobre Fertilização e Nutrição Florestal, 19p. , 1999

POGGIANI, F. ; ZEN, S. ; MENDES, F.S. ; SPINA-FRANÇA, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. IPEF 27: 17-30 , 1984

POWERS, R.F. ; TIARKS, A .E.; BURGER, J.A .; CARTER, M.C Sustaining the productivity of planted forests. 38p.
Disponível em:
http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_powers001.pdf
Acesso em: 21.08.2005

RAISON, R.J. ; CRANE, W.J.B. Nutritional costs of shortened rotations in plantation forestry. In: Proceedings 17th IUFRO World Congress. P. 63-72 , 1981

REIS, E.R. ; GUARIENTI, A . ; PEDRAZZI, C. ; SOUZA, M. ; ROSA, C.A . B.; CARDOSO, G.V. ; FRIZZO, S.M.B. ; FOELKEL, C.E.B. Estudo da composição química das madeiras de *Eucalyptus saligna* e *E,globulus*

spp. maideni em diferentes regiões do tronco. 36° Congresso Anual ABTCP, 8p., 2003
Disponível em:
www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202003a.pdf
Acesso em: 07.09.2005

REIS, M.G.F. ; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. Capítulo do livro "Relação Solo - Eucalipto" p. 265-301, UFV , 1990

REIS, M.G.F. ; KIMMINS, J.P. ; REZENDE, G.C. ; BARROS, N.F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. Revista Árvore 9(2): 149-162 , 1985

REIS, M.G.F. ; BARROS, N.F. ; KIMMINS, J.P. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. Revista Árvore 11(1): 1-15 , 1987

REZENDE, G.C. ; BARROS, N.F. ; MORAES, T.S.A . ; MENDES, C.J. Produção e macronutrientes em florestas de eucalipto sob duas densidades de plantio. Revista Árvore 7(2): 165-176 , 1983

ROSSI, N.F. ; PACKER, A .P. ; GINÉ, M.F. Determinação de elementos traços através de análise direta de amostras de mel por ICP-MS utilizando o método de diluição isotópica. 1p. , s/d
Disponível em:
http://www.sbq.org.br/ranteriores/23/resumos/1014
Acesso em: 07.09.2005

SAINT-ANDRÉ , L. ; NOUVELLON, Y ; LACLAU, J.P. ; RANGER, J. ; BOUILLET, J.P. ; NZILA, J.D. ; DELEPORTE, P. ; GONÇALVES, J.L.M. Modelling nutrient cycling and integrating nutrient cycling into growth

models. In: Proceedings of the Workshop "Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests", p. 171-180, 2004

SANKAN, K.V.; CHACKO, K.C.; PANDALAI, R.C.; KUMARASWAMY, S.; O'CONNELL, A . M.; GROVE, T.S. ; MENDHAM, D.S. Improved productivity of eucalypt plantations through site management practices in the monsoonal tropics: Kerala , India. In: Proceedings of the Workshop "Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests", p. 61-76, 2004

SANTANA, R.C. ; BARROS, N.F. ; NEVES, J.C.L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* em alguns sítios florestais do estado de São Paulo. Scientia Forestalis 56: 155-169 , 1999

SANTANA, R.C. ; BARROS, N.F. ; NEVES, J.C.L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade de produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *E.saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. Revista Árvore 26(4): 447-457 , 2002

SCHNEIDER, M.F. Conseqüências da acumulação de folhas secas na plantação de eucalipto em Zitundo, distrito de Matutuine. Boletim de Investigação Florestal, p. 37-42, 2003

SCHOENHOLTZ, S.H. Effects of intensive forest plantation management on soil and water quality. Symposium "International Plantation Forestry in the Pacific NorthWest. Apresentação em Power Point. 42 slides. 2004
Disponível em:
http://outreach.cof.orst.edu/plantation/pdf/schoenholtzs.pdf
Acesso em: 15.08.2005

SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus globulus, E. saligna* e *E.dunnii.* Universitat fur Bodenkultur (BOKU), Institut fur Waldokologie. 35p., 1994

SCHUMACHER, M.V. Ecologia aplicada na área florestal. Apostila de curso . Em: Ciclo de Atualização Florestal do Cone Sul, Universidade Federal de Santa Maria, 15p. , 1999

SCHUMACHER, M.V. ; BAUERMANN, G.C. ; COPETTI, L. ; BRUN, E.J. ; KONIG, F.G. Fracionamento da serapilheira em três espécies de eucalipto no município de Santa Maria: *Eucalyptus urophylla, E.cloesiana* e *E.grandis* . Anais do 2°Ciclo de Atualização Florestal do Cone-Sul, Universidade Federal de Santa Maria, p. 173-180, 2002

SCHUMACHER, M.V. ; BRUN, E.J. ; KONIG , F.G. ; KLEINPAUL, J.J. ; KLEINPAUL, I.S. Análise de nutrientes para a sustentabilidade. Revista da Madeira 83: 4p., Agosto 2004

SCHUMACHER, M.V. ; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *E.globulus* sub-espécie *maidenii.* Ciência Florestal 11(1): 45-53 , 2001

SCHUMACHER, M.V. ; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *E.camaldulensis, E.grandis* e *E.torelliana* plantados em Anhembi,SP . Ciência Florestal 3(1): 21-34, 1993

SCHUMACHER, M.V. ; POGGIANI, F. ; SIMÕES, J.W. Transferência de nutrientes das copas para o solo através da deposição de folhedo em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis, E. grandis* e *E. torelliana* plantados em Anhembi, SP. IPEF 47: 56-61 , 1994

SCHUMACHER, M. V. ; TOMBIBI, C. S. ; MACHADO Jr., D.B.F. ; HIRT, J.A. N. ; LIMA, M. Estimativa de biomassa de raízes finas em plantio

de *Eucalyptus grandis.* Anais do Ciclo de Atualização Florestal do Cone-Sul, Universidade Federal de Santa Maria, p.262-266, 1999

SGARBI, F. Produtividade do *Eucalyptus sp.* em função do estado nutricional e da fertilidade do solo em diferentes regiões do estado de São Paulo. ESALQ – Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado. 101 p., 2002

SILVA, H.D. ; POGGIANI, F. ; COELHO, L.C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. Boletim de Pesquisa Florestal Embrapa 6/7: 9-25, 1983

SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A.; CORREA, R.S.; BELLOTE,A.F.J.; TUSSOLINI, E.L. Alocação de biomassa e ajuste de equações para estimativa de biomassa em compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthamii*. Boletim de Pesquisa Florestal 49: 83-95, 2004

SILVA, W. ; SILVA, A . A .; SEDIYAMA, T. ; FREITAS, R.S. Absorção de nutrientes de duas espécies de eucalipto em resposta a diferentes teores de água no solo e competição com plantas de *Brachiaria brizantha*. Ciências Agrotécnicas 24(1): 147-159, 2000

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A . A . Taxa fotossintética líquida de *E.citriodora* e *E.grandis* em resposta a diferentes níveis de água no solo e associação com *Brachiaria brizantha*. Acta Scientiarum 23(5): 1205-1209, 2001

SOARES, M.I.J. ; COSTA, E.C. Fauna do solo em áreas com *Eucalyptus spp* e *Pinus elliottii*, Santa Maria, RS. Ciência Florestal 11(1): 29-43 , 2001

SOARES, P. ; TOMÉ, M. A tree crown ratio prediction equation for eucalypt plantation. Annals of Forest Science 58: 193-202, 2001

STAPE, J.L. Pesquisa dos fatores determinantes de produtividade florestal. Em: Seminário sobre o Setor Florestal e de Celulose no Brasil, apresentação em Power Point, 67 slides, maio 2005

STAPE, J.L. ; BINKLEY, D. ; RYAN, M. Potential productivity of *Eucalyptus* in Brazil. XVIII Silvotecna Chile. Apresentação em Power Point, 57 slides, 2003

STAPE, J.L. ; GONÇALVES, J.L. ; SEIXAS, F. Improvements and quality control of silviculture operations in Brazil. XIX Silvotecna Chile. Apresentação em Power Point, 100 slides, 2004

SUZANO BAHIA SUL S/A Utilização de biossólido na Suzano Bahia Sul Papel e Celulose S/A . Apresentação em Power Point, 5 slides, s/d

TIARKS, A .; ELLIOTT-SMITH, M. ; STAGG, R. Effects of logging residue management on the growth and nutrient distribution of a *Pinus taeda* plantation in Central Louisiana, USA. In: Proceedings of the Workshop "Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests", p. 151-162, 2004

TOIT, B. ; DOVEY, S.B. ; FULLER, G.M. ; JOB, R.A . Effects of harvesting and site management on nutrient pools and stand growth in a South African eucalypt plantation. In: Proceedings of the Workshop "Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests", p. 31-43, 2004

VALLEJO, L.R. A influência do "litter" na distribuição de águas pluviais. Tese de Mestrado em Ciências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 88 p., 1982

VOGEL, H.L.M. ; SCHUMACHER, M.V. ; SILVA, J.V.M. ; ROSS, G.P.D. ; MOREIRA, E.S. Utilização de cinza de caldeira de biomassa como fonte

de nutrientes em *Acacia mearnsii*. 8º Congresso Florestal Brasileiro. 8 p., 2003

XAVIER, A . C. ; SOARES, J.V. ; ALMEIDA, A .C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. Revista Árvore 26(4): 421-427 , 2002

WEBB, W.R. ; AYLWARD, P.J. A survey of chlorides in eucalypt wood species in Gippsland. Appita 36(4): 293-297 , 1983

WEBER, O . B. ; LOURES, E.G. ; BORGES , A . C. ; REGAZZI, A . J. ; BARROS , N.F. Atividade da microbiota em casca de eucalipto: efeito da aplicação de cinza, nitrogênio e fósforo. Revista Árvore 11(1): 16-24, 1987

WITSCHORECK, R. ; SCHUMACHER, M.V. ; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa de biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* no município de Santa Maria. Revista Árvore 27(2): 177-183, 2003

YAMADA, M. ; TOMA, T. ; HIRATSUKA , M. ; MORIKAWA, Y. Biomass and potential nutrient removal by harvesting in short-rotation plantations. In: Proceedings of the Workshop "Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests", p. 213-226, 2004

ZAIA, F.C. ; GAMA-RODRIGUES, A . C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. Revista Brasileira de Ciência do Solo 28: 843-852 , 2004

ZAKIA, M.J.B.; POGGIANI, F. ; COUTO, H.T.Z. Correlação entre a concentração de nutrientes nas copas e a altura das árvores de eucalipto plantado em povoamentos puros. IPEF 25: 29-32 , 1983

ZEN, S.; POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z. Variação da concentração de nutrientes ao longo do caule de *E. saligna*: implicações na utilização energética dos resíduos florestais. IPEF Circular Técnica nº 136, 6p. , 1981