



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**CLÉSSIO GOMES DA SILVA**

**INFLUÊNCIA DA ALOCAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO DE  
BIOMASSA EM HÍBRIDOS DE *POPULUS***

Prof. Dr. Carlos Domingos da Silva  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ

Novembro - 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE FLORESTAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**CLÉSSIO GOMES DA SILVA**

**INFLUÊNCIA DA ALOCAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO DE  
BIOMASSA EM HÍBRIDOS DE *POPULUS***

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. Carlos Domingos da Silva  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
Novembro-2014

**INFLUÊNCIA DA ALOCAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO DE  
BIOMASSA EM HÍBRIDOS DE *POPULUS***

**CLÉSSIO GOMES DA SILVA**

Monografia aprovada em 03 de novembro de 2014.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Carlos Domingos da Silva  
UFRRJ/IF/DCA  
Orientador

---

Prof. Dr. Paulo Sergio Torres Briosso  
UFRRJ/IB/DEF  
Membro

---

Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior  
UFRRJ/IF/DCA  
Membro

## AGRADECIMENTOS

A Primeiramente à Deus por ter me guiado e dado forças para eu sempre seguir os meu objetivos.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por me proporcionar o título de Engenheiro Florestal e por me possibilitar momentos de alegria e aprendizagem.

Ao programa IAESTE por ter me proporcionado a primeira oportunidade de intercâmbio.

Ao Programa Ciência sem Fronteiras pela Bolsa de Graduação Sanduíche e ao Programa de Bolsas de Iniciação Científica pelas bolsas obtidas durante a graduação.

Ao meu orientador Professor Dr. Carlos Domingos da Silva pela orientação, pelos ensinamentos, pela atenção e por ter acreditado em mim desde o primeiro período quando me tornei seu estagiário.

À minha orientadora na Georg-August-Universität Göttingen, Andrea Polle e Dra. Dejuan Euring pela orientação, amizade e apoio durante o tempo que passei na Alemanha.

Aos meus pais, José Gomes da Silva e Antônia Rodrigues da Silva pela confiança, carinho e apoio em todas as decisões que eu venho tomando.

Aos meus irmãos Clayton, Silvania e Solange pelo carinho e amizade.

Aos meus amigos Danilo Reis Gonçalves, Pablo Vieira dos Santos, Luís Octávio Vieira Pereira, Raquel Oliveira dos Santos, Rafael João Sampaio, Leila Araújo Lins da Silva, Gisely de Lima Oliveira, Ananias Francisco Dias Junior, Tamires Partelli, Carla de Oliveira, Daniely Moreira Maciel, Deise Amaral, Marisa Moreira da Silva, Dyuliano Soares, Diego Rocha, pelos momentos compartilhados de alegria, aprendizagem e amizade.

## RESUMO

Duas variedades híbridas de *Populus* de rápido crescimento Max 1 (*Populus nigra* x *Populus maximowiczii*) e Híbrido 275 (*Populus trichocarpa* x *Populus maximowiczii*) foram plantadas em um terreno localizado na cidade de Göttingen-Alemaha em área de pastagem, na primavera de 2011. O terreno tem uma leve declividade da direção leste (terço superior) para oeste (terço inferior), com solo raso e presença de pedras tentando para oeste. Com o objetivo de estudar a influência da alocação de Carbono e Nitrogênio na produção de biomassa desses dois híbridos de Álamo em suas fases de estabelecimento, em sítios marginais, foi investigado o comportamento fisiológico, como concentração de carbono, nitrogênio e biomassa sob condições favoráveis e desfavoráveis de acordo com a porção do terreno. A produção de biomassa, teor de carbono e nitrogênio foram medidos a partir da colheita do ano de 2012. Diferenças significativas na produção de biomassa foram determinadas em ambas as variedades de álamo, tanto no lado leste quanto no oeste. Entre os dois lados, a eficiência de uso de nitrogênio foi significativamente diferente em Max 1, mas não no Híbrido 275, enquanto a concentração de nitrogênio na raiz e relação C / N na raiz foram significativamente diferentes no Híbrido 275, mas não em Max 1. Em ambos os lados, o Híbrido 275 alocou mais C em folhas do que Max1 e tiveram índices mais elevados de C e N nas folhas, caule e na planta como um todo e mostrou maior eficiência de uso de N. Ao comparar esses dois híbridos, foi concluído que Max1 é mais adaptável às condições desfavoráveis com maior sobrevivência, o que pode ser explicado pela menor relação C/N em folhas e caules do que aqueles do Híbrido 275.

**Palavras-chave:** variedades adaptadas, captação de carbono, bioenergia.

## ABSTRACT

Two fast growing hybrid poplars Max 1 (*P. nigra* x *P. maximowiczii*) and Hybrid 275 (*P. trichocarpa* x *P. maximowiczii*) were planted in a block design site in Göttingen on a grassland site in spring of 2011. The site has a brief slope from east (top) to west (bottom) with more shallow soil and stones towards west. The aim of study was to investigate the influence of the allocation of carbon and nitrogen in biomass production of these two hybrid poplar in its establishment stages on marginal sites. I was studied the physiological behavior such as concentration of carbon, nitrogen and biomass under favorable and unfavorable conditions, according to the land portion. The production of biomass, carbon and nitrogen were measured from the harvest of 2012. Significant differences in biomass production were determined in both varieties of poplar, either on the east side and the west. Between the two sides, the efficiency of nitrogen utilization was significantly different to Max 1, but not in the Hybrid 275 while the nitrogen concentration in the root and C / N ratio were significantly different in the root of the Hybrid 275, but not in max 1. In both sides, the Hybrid 275 allocated more C in leaves than Max1 and had higher rates of C and N in leaves, stems and the plant as a whole and showed more efficient use of N. When comparing these two hybrids it was concluded that Max1 is more adaptable to adverse conditions, showing a higher survival rate, which may be explained by the lower C / N ratio in leaves and stems than those of the Hybrid 275.

**Keywords:** Adapted varieties, carbon capture, bioenergy.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	2
2.1 Características do gênero <i>Populus</i> .....	2
2.1.1 Habitat e botânica.....	2
2.1.2 Características Silviculturais.....	5
2.1.3 Características Físicas e Químicas da Madeira.....	6
2.2 Nitrogenio .....	7
2.3Carbono .....	9
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	10
3.1Biomassa.....	12
3.2 Crescimento.....	12
3.3 Concentração de Carbono e Nitrogênio e Particionamento .....	13
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	14
4.1 Crescimento e Biomassa Seca.....	14
4.2 Alocação de Carbono e Nitrogênio e Particionamento.....	16
<b>5.CONCLUSÃO</b> .....	17
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	18

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pag</b>
<b>Tabela 1</b> Posicionamento do plantio das variedades híbridas de <i>Populus</i> .....	11

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 1: Inflorescência, folhas e sementes de <i>Populus nigra</i> .....	3
Figura 2: Sementes de <i>Populus nigra</i> em fase de dispersão.....	4
Figura 3: Álamos em seu habitat natural.....	4
Figura 4: Plantio de variedades híbridas de <i>Populus</i> .....	5
Figura 5: Aspecto visual da madeira de <i>Populus</i> .....	6
Figura 6: Composição geral de madeira de <i>Populus</i> .....	7
Figura 7: Absorção de Nitrogênio por plantas noduladas e não noduladas.....	7
Figura 8: Ciclo do Carbono.....	9
Figura 9: Localização do município de Göttingen- Alemanha e vista do plantio.....	11
Figura 10: Diferentes porções da área do plantio.....	12
Figura 11: Modelo de estufa utilizada para a secagem das amostras.....	13
Figura 12: Modelo de balança eletrônica utilizada para a pesagem das amostras.	13
Figura 13: Modelo de aparelho utilizado para quantificar C e N.....	14
Figura 14: Taxa de sobrevivência após o primeiro ano de híbrido de <i>Populus</i> .	15
Figura 15: Produção de biomassa nas folhas, caules e raízes dos híbridos.....	15
Figura 16: Biomassa seca nas diferentes porções do terreno.....	16
Figura 17: Conteúdo de C, Conteúdo de N e relação C/N.....	17

## 1. INTRODUÇÃO

Com a ratificação do Protocolo de Kyoto, a maior parte dos países tem formado comitês para redução das emissões de CO<sub>2</sub> e consequentemente, muitos destes países têm a obrigação de substituir a produção de energia a partir de combustíveis fósseis por energia proveniente de outras fontes tais como eólica, solar, biodiesel e mais recentemente de biomassa advinda de espécies vegetais de rápido crescimento (ALI, 2009).

Dentre as espécies vegetais, as árvores possuem alto potencial de produção de energia, uma vez que possuem alta longevidade e são caracterizadas pela habilidade de gerar biomassa lenhosa. Nesse sentido, o gênero *Populus* tem uma importante contribuição no que tange as necessidades globais de papel, madeira e outros produtos de base madeireira. Este gênero é popularmente chamado de Álamo ou Choupo e pertence à Família *Salicaceae*. É originário de regiões de clima temperado e frio do Hemisfério Norte, onde são amplamente cultivados constituindo-se como uma das principais espécies econômicas (TAYLOR, 2002).

Dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2004) mostram que existem cerca de 70 milhões de hectares de Álamo no mundo, os quais crescem em forma de bosques naturais, florestas plantadas, incluindo sistemas agroflorestais e árvores ornamentais. A Federação Russa, Canadá e Ucrânia têm as maiores áreas de Álamo nativo, porém, China, Índia e Paquistão possuem as maiores áreas plantadas.

Álamos têm diversas vantagens como um sistema de árvore modelo, incluindo rápido crescimento, reprodução sexual prolifera, fácil clonagem, genoma pequeno em relação às outras árvores, facilidade de realizar transgenia, e forte conexão entre as características fisiológicas e produtividade de biomassa. Em estudos recentes, a combinação de genética e fisiologia está sendo usada para compreender o mecanismo detalhado do crescimento e desenvolvimento das florestas (KLOPFENSTEIN et al. 1997).

Na Europa, o estabelecimento de plantações de Álamo tem sido geralmente reconhecido como uma opção viável de uso do solo para a produção de energias renováveis, o que combina a alta taxa de fixação de CO<sub>2</sub> com o baixo custo de captura de CO<sub>2</sub> (FAO, 2012). Em geral, solos férteis são na sua maioria utilizados para a produção alimentos. Sendo assim, as plantações de álamo são feitas geralmente em sítios marginais à plantações agrícolas, onde os solos não possuem características desejáveis para a agricultura, apresentando uma baixa fertilidade (EURING, 2013).

Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi avaliar a influência da alocação de Carbono e Nitrogênio na a produção de biomassa de dois híbridos comerciais de *Populus* MAX1 (*P. nigra* x *P. maximowiczii*) e H275 (*P. trichocarpa* x *P. maximowiczii*) em uma área de pastagem localizada na cidade de Göttingen, Alemanha.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

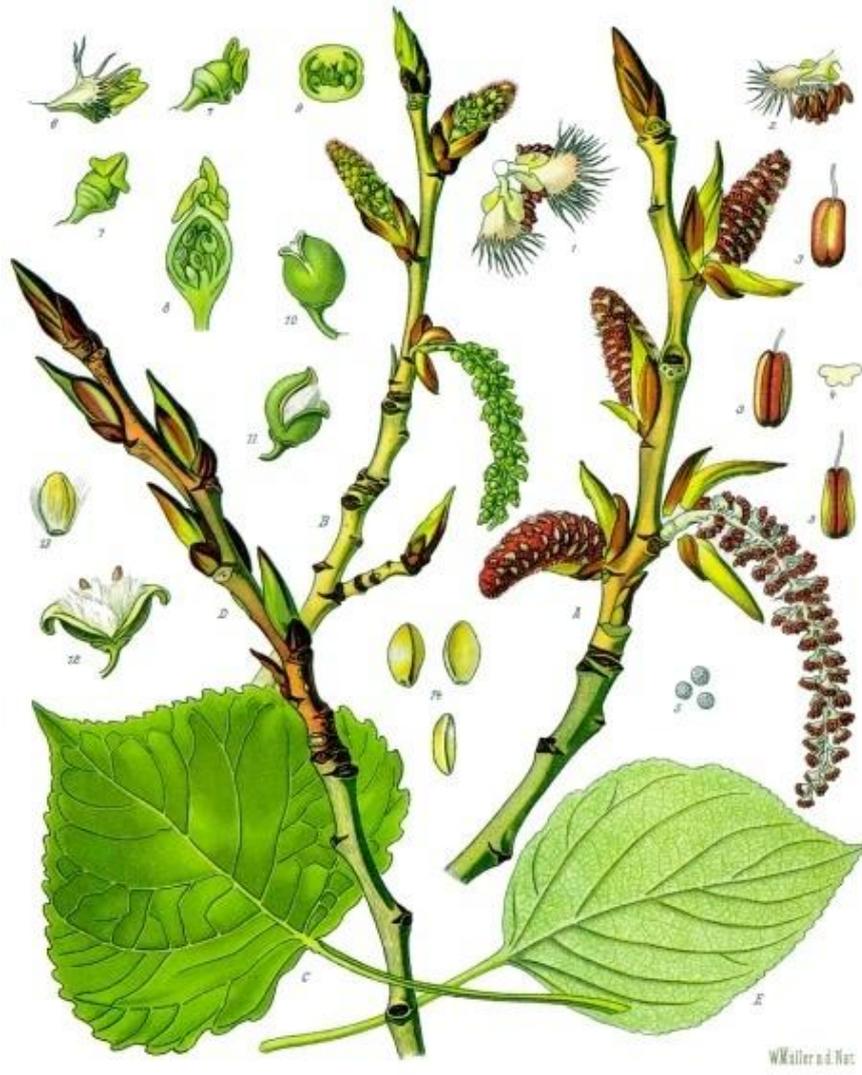
### 2.1 Características do gênero *Populus*

#### 2.1.1 Habitat e botânica

O álamo é uma espécie florestal pioneira e nativa do Hemisfério Norte, distribuída na América do Norte, Europa e Ásia, desde a latitude 30°N até o círculo polar. Com tudo, ele tem sido plantado amplamente fora de seu habitat natural, até mesmo no Hemisfério Sul. É uma espécie pioneira com fácil adaptação as regiões frias e áreas ribeirinhas, várzeas ou terras úmidas (FAO, 2011).

Também conhecido como choupo, pertence ao gênero *Populus*, sendo um dos gêneros da Família *Salicaceae*. A família *Salicaceae* faz parte da ordem Salicales, do grupo *Amentiflorae*. Caracterizando-se por flores unissexuais com o perianto ausente ou insignificante. Já o grupo *Amentiflorae* pertence à subclasse *Monochlamydae*, a classe *Dicotiledônea*, subdivisão *Angiospermae* e divisão *Phanerogamae* (FAO, 2008).

Todas as espécies da família *Salicaceae* são dióicas, isto é, apresentam plantas masculinas e femininas em separado. Suas sementes perdem a capacidade de germinação rapidamente e muitas vezes são estéreis, por não estarem fecundadas, esta dificuldade de fecundação deve-se ao fato das árvores apresentarem sexos distintos. Suas folhas são quase sempre alternas e seus frutos formam uma cápsula que contém grande número de sementes (figura1), as quais são envoltas em uma espécie de algodão (figura 2), o que permite a disseminação em grandes distâncias. A frutificação ocorre ao final da primavera ou início do verão (OLIVER, 1988).



**Figura 1:** Inflorescência, folhas e sementes de *Populus nigra*

Fonte: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Populus\\_nigra\\_-\\_Köhler-s\\_Medizinal-Pflanzen-112.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Populus_nigra_-_Köhler-s_Medizinal-Pflanzen-112.jpg).



**Figura 2:** Sementes de *Populus nigra* em fase de dispersão.  
Fonte: Chernilevsky (2009).

O gênero tem um papel muito importante nas populações naturais de seu habitat nativo, particularmente em ecossistemas ripários (figura 3). Capazes de colonizar rapidamente ambientes perturbados, várias espécies ocupam habitats nos ambientes dinâmicos de várseas onde elas formam um componente fundamental da floresta ripária (BRAATNE et al., 1996).



**Figura 3:** Álamos em seu habitat natural.  
Fonte: [www.bugwood.org](http://www.bugwood.org)

### 2.1.2 Características Silviculturais

O rápido crescimento é a marca dos álamos. Eles derivam de um sistema de crescimento que se inicia com o alongamento de um caule pré-formado a partir de sua raiz e, em seguida, continua a expandir seus segmentos do caule e folhas durante toda a fase de crescimento. A madeira possui poros difusos, e é relativamente leve, e ainda assim capaz de formar árvores de 40 m de altura em menos de 20 anos de idade.

Várias dessas características fizeram o gênero *populus* atraente para os seres humanos desde os tempos antigos. Hoje, o álamo é cultivado em todo o mundo em plantações para produção de celulose e papel, embalagens, palito de fósforo, produtos utilizados na construção civil como moirões e compensados e madeira para energia (figura 4) . Cultivado em escala comercial, sob cultivo intensivo, alcançando rotações de 6 a 8 anos com variedades híbridas (ZSUFFA et al. 1996).



**Figura 4:** Plantio de variedades híbridas de *Populus*.  
Fonte: Própria

Os álamos possuem três características principais que os tornam excelentes para a curta rotação em manejo intensivo da cultura: rápido crescimento juvenil, resposta imediata às práticas culturais, e forma da sua copa (BRADSHAW et al., 2000). Os híbridos deste gênero são mais tolerantes à seca do que os álamos nativos (WYCKOFF e ZASADA, 2003), e essa característica os tornam atraentes como cultura para complementar a oferta cada vez menor de madeiras naturais.

Os programas de melhoramento têm se concentrado na produção de híbridos interespecíficos desde os primeiros dias de melhoramento, aproveitando o vigor híbrido da geração F1. Estes ganhos genéticos da primeira geração podem ser prontamente utilizados para fins de silviculturais, em função da facilidade com que muitos híbridos de *Populus* podem ser vegetativamente propagados (STANTON E VILLAR 1996).

Árvores em talhões de álamo para bioenergia podem ser plantadas com densidade de 1.500 árvores por acre, o que tem uma densidade muito maior do que aqueles de talhões destinados a usos mais tradicionais, como para papel e celulose, que varia de 34 a 360 árvores por acre (STANTURF et al., 2001). Isto é feito para acelerar o acúmulo de biomassa por unidade de área, ao invés de produzir grandes árvores individuais. Estudos estão sendo realizados para determinar a viabilidade econômica de sistemas de plantio. Dependendo do sistema de manejo a ser utilizado, plantações de álamo para energia podem conter densidades tão baixas quanto 700 ou tão altas quanto 5.700 árvores por acre (MILLER e BENDER 2012).

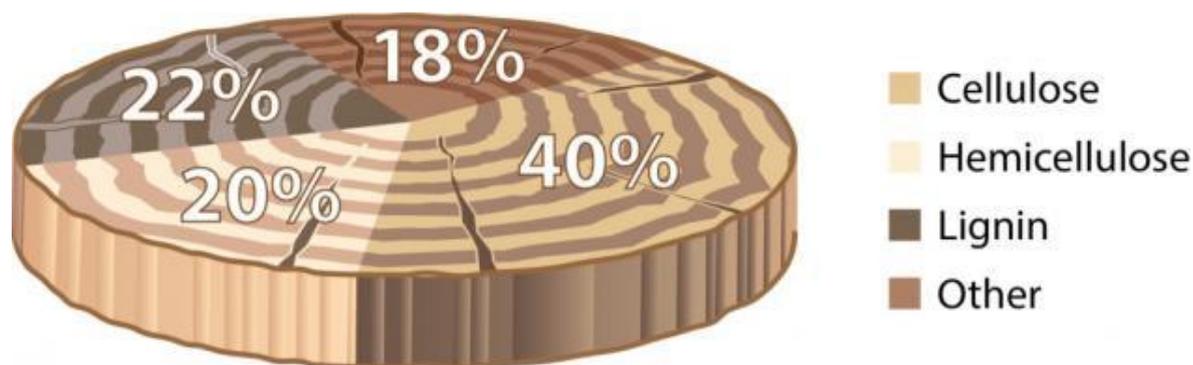
### 2.1.3 Características Físicas e Químicas da Madeira

A madeira recém cortada apresenta uma cor clara, variando de branco, branco amarelada, cinza e rosada, estando esta variação ligada as diferentes espécies de *Populus* (figura 5) Após secagem, a cor se atenua menos nos híbridos euroamericanos. O odor é indefinido, podendo ser pronunciado em alguns híbridos. Devido ao pequeno tamanho dos vasos, a textura é em geral fina a média, sendo a grã regular. Os anéis de crescimento são bastante visíveis, em cortes transversais, devido a uma fina camada de células de parênquima ao final do ciclo vegetativo (FAO, 1979).



**Figura 5:** Aspecto visual da madeira de *Populus*.  
Fonte: Portal da Madeira (2010).

A composição volumétrica da madeira de *Populus* é caracterizada pela alta proporção de fibras (53% a 60%), seguida pelos elementos de vaso (28% a 34%), células de raio (11% a 14%) e pela baixa proporção de parênquima axial (0,1 a 0,3%) (Balatinecz, 2001). Além da habilidade de rápido acúmulo de biomassa em um curto período de tempo, o gênero possui uma característica química que o faz ser altamente viável para a produção de energia, que é a um alto conteúdo de celulose e baixo conteúdo de lignina (figura 6).



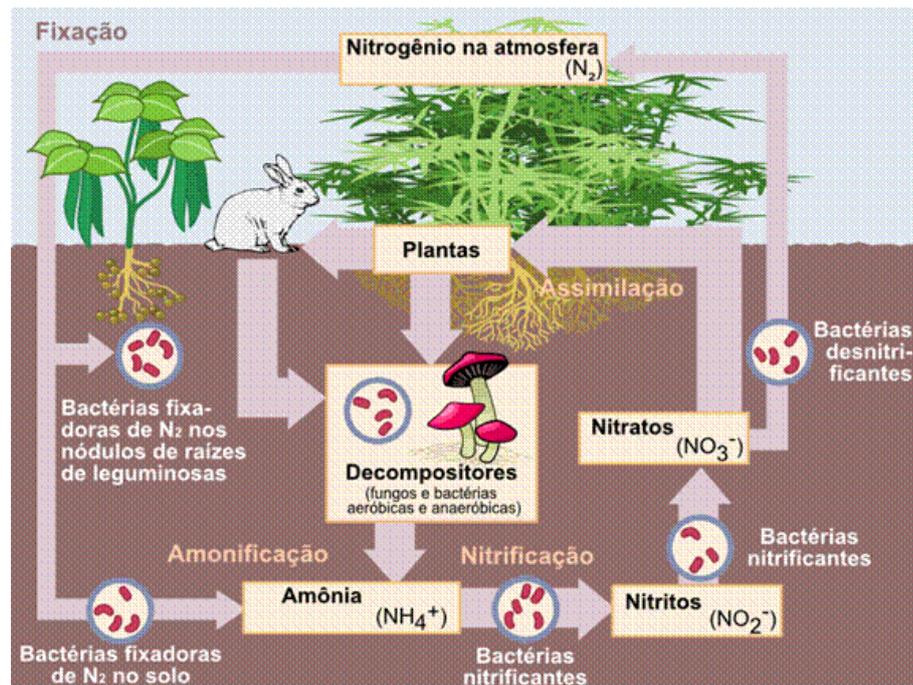
**Figura 6:** Composição geral de madeira de *Populus*, mostrando estimativas de conteúdo médio de celulose e lignina.

Fonte: Advanced Hardwood Biofuels Northwest (2013a).

## 2.2 Nitrogênio

De maneira geral, o N é o nutriente mineral mais exigido pelas plantas. A atmosfera, que possui aproximadamente 79% de N na forma de  $N_2$ , principalmente, é a fonte natural do elemento para a biosfera. Mas, o  $N_2$  é uma fonte natural de gasosa e não diretamente aproveitada pelas plantas. Para tal, há necessidade de uma transformação prévia para formas combinadas.  $N-NH_4$  (amônio) e  $N-NO_3$  (nitrato). Os principais processos responsáveis pela fixação biológica, fixação industrial e fixação atmosférica (VALDEMAR, 2005).

O conteúdo total de nitrogênio é geralmente distribuído em três principais partes: atmosfera, solo (incluindo os lençóis subterrâneos de água) e o nitrogênio contido na biomassa. O padrão complexo de troca de N entre os três ambientes é conhecido como ciclo do nitrogênio (Figura 7). Em torno de 270 milhões de toneladas de  $N_2$  da atmosfera são transferidos para o solo por ano.



**Figura7:** Absorção de Nitrogênio por plantas noduladas e não noduladas.  
Fonte: Gallo 2013

A exigência de N pelas plantas é consequência da sua função estrutural, pois ela faz parte da molécula de compostos orgânicos, como os aminoácidos e proteínas, sendo ainda ativador de muitas enzimas (MALAVOLTA, 2006). O vegetal também depende do N para realização de um ou mais processos vitais da planta, como síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA, 2006).

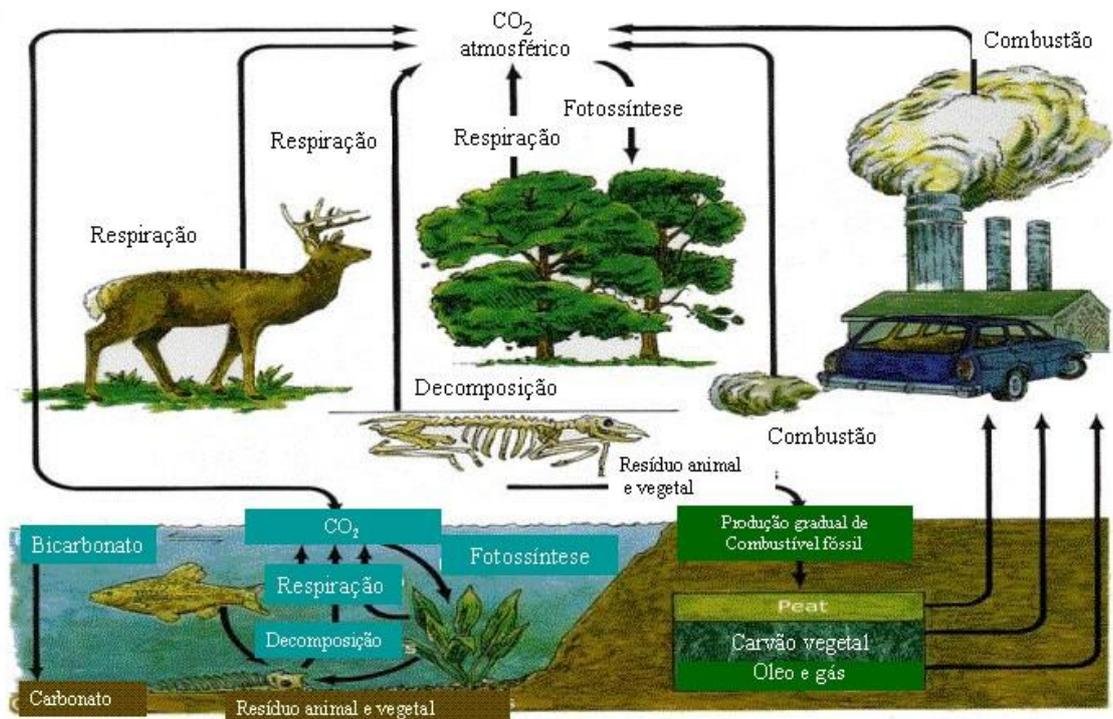
Dada a sua importância e a alta mobilidade no solo, o nitrogênio tem sido intensamente estudado, no sentido de maximizar a eficiência do seu uso. Para tanto, tem-se procurado diminuir as perdas do nitrogênio no solo, bem como melhorar a absorção e a metabolização do N no interior da planta.

A eficiência da utilização do nitrogênio adicionado ao solo se refere ao grau de recuperação desse elemento pelas plantas, considerando as perdas que geralmente ocorrem. Normalmente, menos de 50% do nitrogênio aplicado sob a forma de fertilizante é utilizado pelas culturas. As perdas no solo são devido aos inúmeros processos aos quais o nitrogênio está sujeito. O nitrogênio é perdido principalmente pela lixiviação de nitrato, volatilização de amônia e emissão de  $N_2$ ,  $N_2O$  e outros óxidos de nitrogênio (ANGHINONI, 1986).

O uso de fertilizantes nitrogenados pelas plantas é geralmente ineficiente, sendo 50 a 70% do N aplicado perdido do sistema solo-planta (PEOPLES et al, 1995). Como uma consequência, nas últimas quatro décadas o incremento em duas vezes na produção de alimentos agrícolas, em nível mundial, foi alcançada com o incremento de 20 vezes na quantidade de fertilizantes nitrogenados aplicados (SHRAWAT & GOOD, 2008). Esse aumento no uso de fertilizantes nitrogenados tem resultado em vários danos ambientais, como a contaminação de lençol freático e rios por nitrato (DAVIES & SYLVESTER-BRADLEY, 1995) ou em escala global através de emissão de óxido nítrico (BOUWMAN et al., 2002). Dessa forma, a eficiência no uso de fertilizantes nitrogenados (N) é crucial para sustentar a produção agrícola e florestal.

## 2.3 Carbono

O Ciclo do Carbono ( figura 8) consiste na transferência do carbono na natureza, através das várias reservas naturais existentes, sob a forma de dióxido de carbono. Para equilibrar o processo de respiração, o carbono é transformado em dióxido de carbono. Outras formas de produção de dióxido de carbono são através das queimadas e da decomposição de material orgânico no solo. Os processos envolvendo fotossíntese nas plantas e árvores funcionam de forma contrária. Na presença da luz, elas retiram o dióxido de carbono, usam o carbono para crescer e retornam o oxigênio para atmosfera. Durante a noite, na transpiração, este processo inverte, e a planta libera  $\text{CO}_2$  excedente do processo de fotossíntese (SILVA at al, 2001).



**Figura 8:** Ciclo do Carbono.

Fonte: [www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/q\\_ciclocarbono](http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/q_ciclocarbono)

Indiscutivelmente, o clima do planeta Terra oscilou significativamente nos últimos 65 milhões de anos. Estas flutuações incluem processos lentos (numa escala de  $10^5$  a  $10^7$  anos) de aquecimento ou de resfriamento impulsionados pela tectônica de placas, processos graduais, quase cíclicos, derivados de alterações orbitais (numa escala de  $10^4$  a  $10^6$  anos), em alguns raros casos alterações abruptas com transições na escala de  $10^3$  anos. Este padrão de flutuações alterou-se, significativamente, desde a revolução industrial do

século XIX, quando a Terra entrou em um processo de aquecimento em função do crescente acúmulo de gases, especialmente CO<sub>2</sub>, na atmosfera do planeta (FBDS, 2006).

As florestas são consideradas importantes para o equilíbrio de carbono global, pois guardam dentro de suas árvores e no solo mais carbono do que o que existe atualmente na atmosfera (HOUGHTON, 1994). De acordo como o autor, se as florestas forem cortadas, a maior parte do carbono guardado nas árvores será liberado para a atmosfera rapidamente, através de queimadas, ou mais lentamente, por meio da decomposição. Cerca de 25% do carbono existe no metro superior do solo e também perdido na atmosfera se o solo for cultivado.

As árvores representam o maior pool terrestre de biomassa de carbono (C) e, conseqüentemente, um a compreensão das suas respostas ao aumento da concentração de dióxido de carbono, [CO<sub>2</sub>], é de fundamental importância para a previsão do estoque C na biosfera e tem sido amplamente estudado ao longo das últimas duas décadas (NORBY *et al.*, 2004). Elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> pode atuar como um fertilizante, estimulando o crescimento florestal e acelerando seu desenvolvimento, mas o papel do CO<sub>2</sub> como agente seletivo em mudança microevolutiva tem sido difícil provar (Ward & Kelly, 2004).

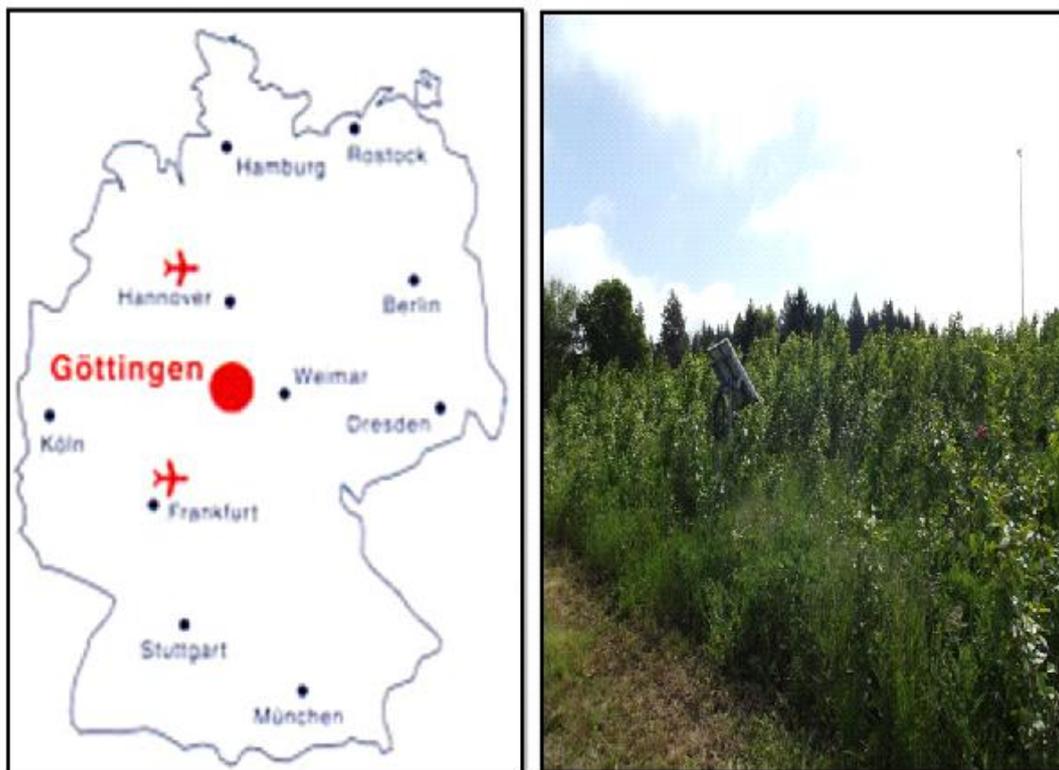
Embora este conceito foi lançado desde o princípio da Convenção do Clima, este se consagrou somente a partir da Conferência de Kyoto, em 1997, quando foram aprovados os mecanismos de flexibilização dos mecanismos de redução do GEE, que incorporariam o seqüestro florestal de carbono (YU, 2004). Trata-se de uma modalidade dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do protocolo de Kyoto.

O seqüestro de carbono florestal é uma alternativa viável para amenizar o agravamento do processo de elevação da temperatura global, pelo aumento de GEE. Os vegetais, utilizando sua capacidade fotossintética, fixam o CO<sub>2</sub> atmosférico, biossintetizando na forma de carboidratos, sendo por fim depositados na parede celular (RENNER, 2004).

Espécies *Populus* são bastante utilizadas em sistemas experimentais de concentração de carbono, devido as suas altas taxas de crescimento e rápido desenvolvimento de suas copas (GIELEN *et al.*, 2001). Segundo GIELEN e CEULEMANS, 2001 em resposta as altas concentrações de carbono, a estimulação da biomassa em *Populus* foi entre 33% e 39% num sistema de talhadia de curta rotação, segundo GIELEN e CEULEMANS, 2001. E de 20% em um plantio misto, de acordo com KUBISKE *et al.*, 2006.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Duas variedades híbridas de rápido crescimento de *Populus spp* MAX1 (*P. nigra* x *P. maximowiczii*) e Híbrido 275 (*P. trichocarpa* x *P. maximowiczii*) foram plantados em blocos ( tabela 1 ), em uma área experimental de pastagem localizada no município de Göttingen, região central da Alemanha ( Figura 3) durante a primavera de 2011



**Figura 9** – Localização do município de Göttingen- Alemanha e vista do plantio.  
 Fonte: Própria.

**Tabela 1-** Posicionamento do plantio de híbridas de *Populus*.

<b>Lado</b>	<b>H275</b>	<b>MAX1</b>
Leste (ambiente favorável)	H-L	M-L
Oeste (ambiente desfavorável)	H-O	M-O

O terreno era originalmente coberto por pastagem e possui uma leve declividade da direção leste (terço superior) para oeste (terço inferior), com solo raso e presença de pedras tendendo para o lado oeste da área (figura 10).



**Figura 10:** Diferentes porções da área do plantio.  
Fonte: Própria.

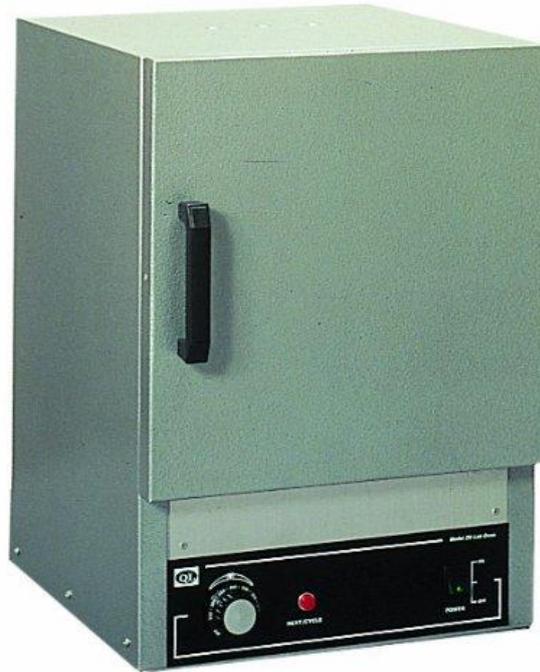
Para a quantificação de produção de biomassa, conteúdo de carbono e nitrogênio, energia calórica desses dois híbridos de *Populus*, foi realizada a colheita no ano de 2012.

### 3.1 Biomassa

Imediatamente após a colheita, as plantas foram levadas do campo para o laboratório para a separação do conteúdo de caule, folhas e raízes. Em seguida, as amostras foram colocadas em saco de papel e deixadas para secar em estufa 60° C (figura 11). Após duas semanas as amostras foram retiradas da estufa e pesadas para quantificação da biomassa (EURING, 2013).

### 3.2 Crescimento

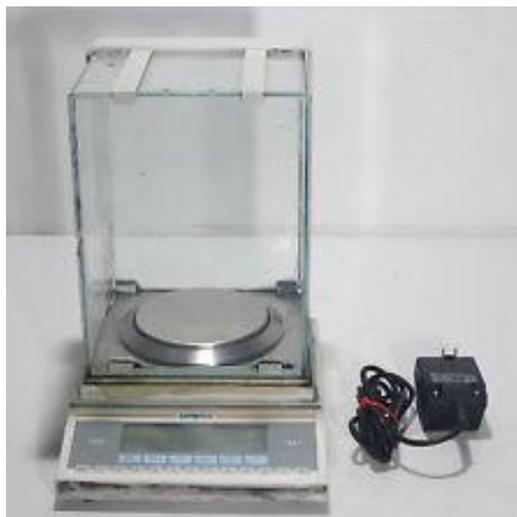
Com o auxílio de uma fita métrica, momentos antes da colheita, foram medidos a altura e o diâmetro das plantas. Além da contagem do número total de folhas por planta, para se determinar o crescimento.



**Figura 11:** Modelo de estufa utilizada para a secagem das amostras.  
Fonte: Própria.

### 3.2 Concentração de Carbono e Nitrogênio e Particionamento

Tecidos secos das plantas (as amostras foram retiradas do quinto ao oitavo inter-nó do caule, folhas completamente abertas, raízes finas e grossas) foram moídas até alcançar consistência de pó fino (MM2 Retsch). Alíquotas de 0,7-0,9 mg foram pesados (Sartorius Supermicro S4)(figura12) dentro de cápsula de estanho e analisadas em um Elemental Analyzer EA1108 (Carlo Erba Strumentazione)( figura13).



**Figura 12:** Modelo de balança eletrônica utilizada para a pesagem das amostras.  
Fonte: Própria.



**Figura 13:** Modelo de aparelho utilizado para quantificar C e N.  
Fonter: Própria.

O particionamento do nitrogênio foi calculado sendo: ( Conteúdo de N do tecido da planta) x 100/( Conteúdo de N da planta), onde conteúdo de N é N(gm/g massa seca) x massa seca de tecido(g). O balanço carbono-nitrogênio foi calculado como: **C/N= quantidade de carbono produzido/ unidade de N absorvido**. Em nível da planta como um todo a relação C/N corresponde ao uso e eficiência de nitrogênio (Vitousek, 1982).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Crescimento e Biomassa Seca

As variedades de *Populus* apresentaram um gradiente de crescimento da porção leste para o oeste, indicando que existe um gradiente ambiental do leste para o oeste da plantação. MAX1(517 sobrevivente/ 650 total) teve 10.3 % mais sobreviventes que o Híbrido 275(450 sobreviventes/ 650 total) em agosto de 2012 (Figura 14).

H275 e MAX1 produziram 5.2 e 2.9 vezes menos biomassa total na porção oeste da plantação do que na porção leste respectivamente (Figura 15).

Não existem diferenças significativas entre H275 e MAX1 sob condições favoráveis para produção de biomassa (Figura 16). Uma menor produção de raiz e menores diâmetros foram encontradas em MAX1 do que as mesmas variáveis em H275 sob condições desfavoráveis.

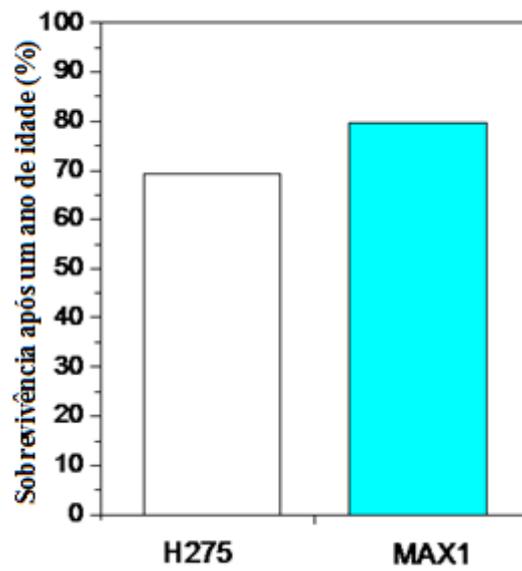


Figura 14: Taxa de sobrevivência após o primeiro ano de híbrido de *Populus*.

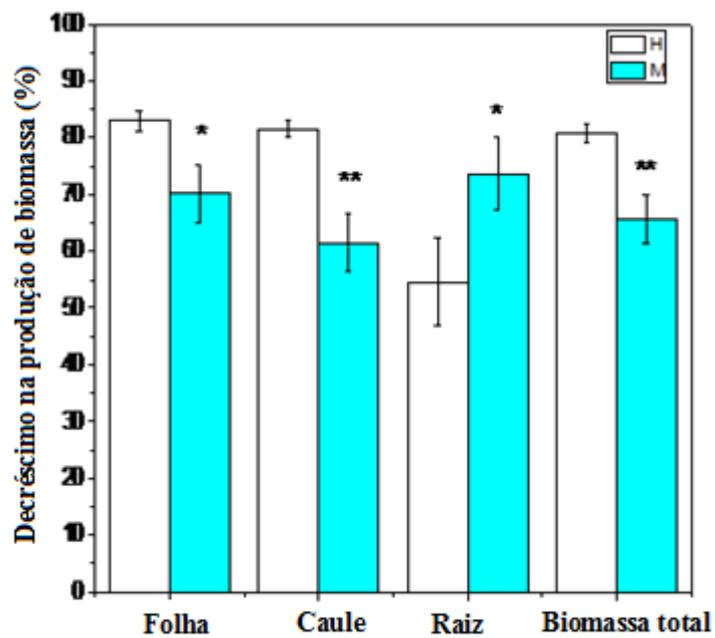
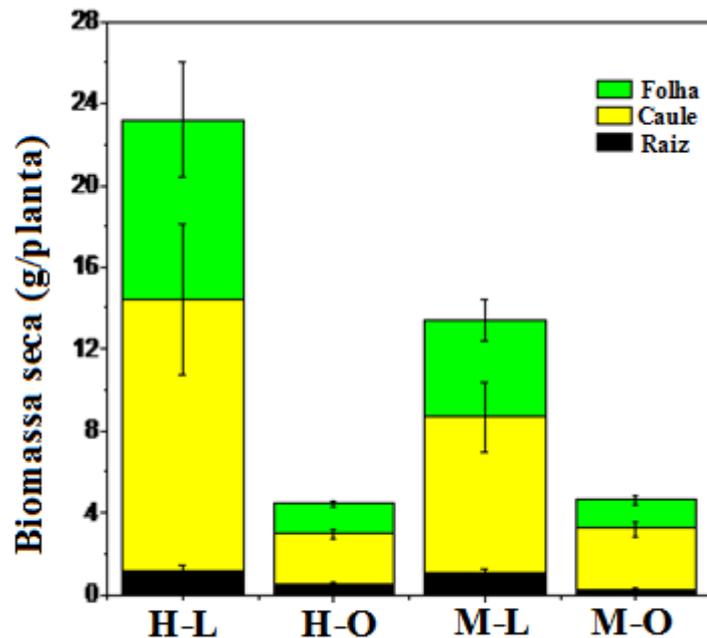


Figura 15: Produção de biomassa nas folhas, caules e raízes dos híbridos.



**Figura 16:** Biomassa seca nas diferentes porções do terreno.

#### 4.2 Alocação de Carbono e Nitrogênio

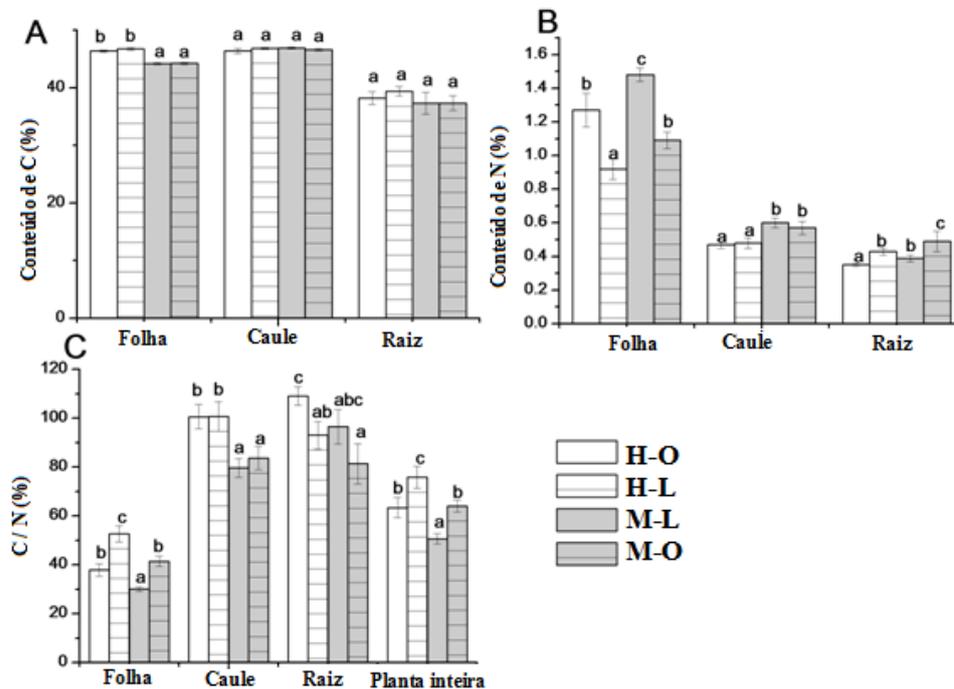
Não há diferenças significativas para a alocação de carbono desses dois híbridos de *Populus* nos caules e raízes; mas H275 fixou mais carbono nas folhas que MAX1 (Figura 17A).

A alocação de carbono também não foi alterada pelas condições ambientais para ambos os híbridos.

As alocações de nitrogênio foram significativamente afetadas pelas condições ambientais nas folhas e raízes, mas não nos caules. Menos conteúdo de nitrogênio na folha, mas não em raízes sob condições desfavoráveis em comparação com aqueles sob condições favoráveis foram determinados para H275 e MAX1.

MAX1 alocou mais nitrogênio sob as mesmas condições em folhas, caule e raiz que H275 (Figura 17B).

H275 teve maiores taxas de C e N em folhas, caules e na planta como um todo e apresentou maior uso e eficiência de N (Figura 17C).



**Figura 17:** Conteúdo de C, Conteúdo de N e relação C/N.

## 5.CONCLUSÃO

- Os dois híbridos de *Populus* respondem similarmente à ambientes desfavoráveis reduzindo com isso a produção de biomassa, pela menor alocação de nitrogênio em folhas, mas não em raízes. O que resulta num aumento da relação C/N nas folhas e diminuição da relação C/N nas raízes.
- Existe uma variação substancial em alocação de nitrogênio e carbono e relação C/N entre os híbridos estudados, o que poderia ser útil para a seleção e melhoramento de *Populus* adaptados a diferentes condições ambientais para haja maior taxa de sobrevivência.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, W. Modelling of Biomass Production Potential of Poplar in Short Rotation Plantations on Agricultural Lands of Saxony, Germany . M.Sc. thesis, TU Dresden, Tharandt, Institute of Forest Growth and Forest Computer Sciences. 2005.

ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B.M. Adubação nitrogenada no Brasil. Ilhéus : CEPLAC/SBCS, 1986. Cap.I. p.1-18.

BALATINECZ, J.J., and KRETSCHMANN, D.E. Properties and utilization of poplar BOUWMAN, A.F.; VAN VUUREN, D.P.; DERWENT, R.G.; POSCH, M. A global analysis of acidification and eutrophication of terrestrial ecosystems. **Water, Air and Soil Pollution**, v.141, p.349-382, 2002.

BRAATNE JH, ROOD SB, HEILMAN PE. Life history, ecology, and reproduction of riparian cottonwoods in North America. In: RF Stettler, HD Bradshaw Jr, PE Heilman, TM Hinckley (eds) *Biology of Populus and Its Implications for Management and Conservation*. NRC Research Press, Ottawa, ON, Canada, pp 57–85, 1996.

BRADSHAW HD, CEULEMANS RE, DAVIS J, STETTLER RF .Emerging model systems in plant biology: poplar (*Populus*) as a model forest tree. *J Plant*, 2000.

EURING, DEJUAN.; L,CHRISTIAN.; T, TEICHMANN.;P, ANDREA.; Nitrogen fertilization has differential effects on N allocation and lignin in two *Populus* species with contrasting ecology. *Trees*, 2012.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. dos. Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003b. 250p.

FAO. Synthesis of Country Progress Reports - Activities Related to Poplar and Willow Cultivation and Utilization- 2008 through 2011. Rome, Italy. 2012.

FAO. Poplars and willows for rural livelihoods and sustainable development. Roma, Itália, 2011.

FAO. Poplars and willows in wood production and land use. Roma, Itália, 1979.328p.

FAO. Poplars and willows of the world, with emphasis on silviculturally important species. Roma, Itália, 2008.

FAO. Síntesis de los informes nacionales de progreso recibidos, elaborados para a 22ª Reunión de la Comisión Internacional del Álamo, organizada conjuntamente por la FAO y las Comisiones Nacionales del Álamo de Chile e Argentina; Santiago de Chile 2004. 43p.

FAO. The domestication and conservation of *Populus* genetic resources. Roma, Itália, 2009.

GIELEN, B., C. CALFAPIETRA, M. SABATTI AND R. CEULEMANS. Leaf area dynamics in a closed poplar plantation under free-air carbon dioxide enrichment. *Tree Physiol*, 2001. 21:1245–1255.

HIREL, B.; BERTIN, P.; QUILLERÉ, I.; BOURDONCLE, W.; ATTAGNANT, C.; DELLAY, C.; GOUY, A.; CADIOU, S.; RETAILLIAU, C.; FALQUE, M. & GALLAIS, A. Towards a Better Understanding of the Genetic and Physiological Basis for Nitrogen Use Efficiency in Maize. **Plant Physiology**, v.125, p.1258-1270, 2001.

HOUGHTON, R.A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: SEMINÁRIO "EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub>: UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, Rio de Janeiro, 1994. Anais. Rio de Janeiro, CVRD, 1994.

KLOPFENSTEIN, N.B.; ALLEN, K.K.; F.J.; HEUCHELIN, S.A.; MARTINEZ, J.; CARMAN, R.C.; HALL, R.B.; HART, E.R.;MCNABB, H.S, JUNIOR. Proteinase inibidor II gene in transgenic poplar: Chemical and biological assays. *Biomass and Bioenergy*. In press. 1997.

KUBISKE, M.E., QUINN, V.S., HEILMAN, W.E., MCDONALD, E.P., MARQUARDT, P.E., TECLAW, R.M., FRIEND, A.L., KARNOSKY, D.F., 2006. Inter-annual climatic variation mediates elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> effects on forest growth. *Global Change Biology* 12, 1054e1068.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Ceres. 2006. 638 p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2th ed. London:Academic Press, 1995. 887 p.

MILLER, R.O., AND B. A. BENDER. 2012. Proceedings from Sun Grant national conference for biomass feedstock production and utilization, New Orleans.

NORBY, R.J., DELUCIA, E.H., GIELEN, B., CALFAPIETRA, C., GIARDINA, C.P., KING, J.S., LEDFORD, J., MCCARTHY, H.R., MOORE, D.J.P., CEULEMANS, R., DEANGELIS, P., FINZI, A.C., KARNOSKY, D.F., KUBISKE, M.E., LUKAC, M., PREGITZER, K.S., SCARASCIA-MUGNOZZA, G.E., SCHLESINGER, W.H. AND OREN, R. Forest response to elevated CO<sub>2</sub> is conserved across a broad range of productivity. *Proceedings of the National Academy of Science* 102, 18052-18056, 2005.

OLIVER, J.M.M.. Chopos Y choperas. Madrid, Ediciones Mundi – Prensa , 1988, 124p.

PEOPLES, M. B.; HERRIDGE, D. F.; LADHA, J. K. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant Soil*, v.174, p.3–28, 1995.

RENNER, ROSANA MARIA. Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. CURITIBA, 2004.

SARKANEN, K. V.; LUDWING, C. H. **Lignins Occurrence, Formation, Structure and Reactions**. New York: USA, 1971. 867 p.

SASAKI, S.; NONAKA, D.; WARIISHI, H.; TSUTSUMI, Y.; KONDO, R. Role of Tyr residues on the protein surface of cationic cell-wall-peroxidase (CWPO-C) from poplar: Potential oxidation sites for oxidative polymerization of lignin. **Phytochemistry**, v.69, p.348–355,2008.

SHRAWAT, A. K. & GOOD, A. G. Genetic Engineering Approaches to Improving Nitrogen Use Efficiency . ISB News Report, 2008.. Growth Reg 19: 306-313

SILVA, R. P., SANTOS, J. DOS; TRIBUZI, E. S.; CHAMBERS, J. Q.; NAKAMURA, S. E HIGUCHI, N. Diameter increment and growth patterns for individual trees growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 5725:1-7, 2001.

STANTON BJ, VILLAR M (1996) Controlled reproduction of *Populus*. In: RF Stettler , HD Bradshaw JR, PE HEILMAN , TM HINCKLEY (eds) *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation*, NRC Research Press,Ottawa, ON, Canada, pp 113–138.

STANTURF, J. A., C. VAN OOSTEN, D. A. NETZER, M. D. COLEMAN, AND C. J. PORTWOOD. Ecology and silviculture of poplar plantations. In: *Poplar Culture in North America*.D. I. Dickmann, J. G. Isebrands, J. E. Eckenwalder, and J. Richardson eds. NRC Research Press. Ottawa, Ontario, Canada, 2001..

TAYLOR G. *Populus: Arabdopsis for Foretry*. Do We Need a Model Tree? *Annals of Botany* 90: 681-689, 2002.

VALLET C, CHABBERT B, CZANINSKI Y, MONTIES B. Histochemistry of lignin deposition during sclerenchyma differentiation in alfalfa stems. *Ann Bot* 78:625–632, 1996.

WARD JK, KELLY JK. Scaling up evolutionary responses to elevated CO<sub>2</sub>: lessons from Arabidopsis. *Ecology Letters* 7: 427–440, 2004.

WENG, J. K. CHAPPLE, C. The origin and evolution of lignin biosynthesis.**New Phytol**, v. 187, p. 273–285, 2010.

WYCOFF GW, ZASADA JC. 2003. *Populus L.: poplar, cottonwood, aspen*. In: *Woody plant seed manual* . Research Press,2001. p.277-291.

YU, CHANG MAN. Seqüestro florestal de carbono no Brasil – dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. CURITIBA, 2004.

ZSUFFA L, GIORDANO E, PRYOR LD, STETTLER RF .Trends in poplar culture: some global and regional perspectives. In: Stettler RF, Bradshaw HD JR, HEILMAN PE, HINCKLEY TM (eds) Biology of Populus and its implications for management and conservation. NRC Res Press, Ottawa, Canada, pp. 515- 539, 1996.

[www.bugwood.org](http://www.bugwood.org)

[www.sbds.org.br](http://www.sbds.org.br)

[www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/q\\_ciclocarbono](http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/q_ciclocarbono)