

4.1.1.1 *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.

Aspectos gerais: tecido lenhoso constituído essencialmente por fibras (66%), seguido de raios (19%) e vasos (15%). Anéis de crescimento distintos, marcados por fibras radialmente estreitas no lenho tardio e poros ligeiramente maiores no lenho inicial (Figura 15A, B).

Vasos: em distribuição semi-difusa, dispostos em múltiplos radiais de 2 – 4 (Figura 15A, B) e com frequência de 179 ± 59 (100 – 275)* vasos/mm². Poros de seção poligonal, com 29 ± 9 (13 – 57) μm de diâmetro e paredes de $3,5 \pm 0,6$ (2 – 5) μm de espessura. Elementos vasculares de 433 ± 101 (260 – 640) μm de comprimento, providos de apêndices e placas de perfuração simples (Figura 15F), oblíquas. Espessamentos helicoidais, tiloses e depósitos, ausentes. Pontoações intervasculares alternas e poligonais, com 4,3 – 6,3 μm de diâmetro e aberturas em fenda inclusa. Pontoações raio-vasculares com bordas reduzidas, aparentemente simples, arredondadas a poligonais, com 2,9 – 7,7 μm de diâmetro.

Parênquima axial: ausente.

Raios: heterogêneos (Figura 15D), com 1 – 3 células de largura (Figura 15G, H) e frequência média de 17/mm. Os unisseriados, compostos de células eretas, medem 271 ± 143 (93 – 593) μm de altura por 13 ± 2 (11 – 19) μm de largura; os multisseriados (bi, raramente trisseriados), com células quadradas no centro e longas margens de células eretas, medem 472 ± 166 (179 – 866) μm de altura por 30 ± 8 (18 – 41) μm de largura. Células perfuradas de raio, ocasionais e visivelmente maiores do que as adjacentes, providas de 1 – 2 perfurações simples (Figura 15E). Canais intercelulares, tubos lactíferos e inclusões minerais, ausentes.

Fibras: fibras septadas (Figura 15F), de 702 ± 146 (430 – 950) μm de comprimento, com paredes estreitas até espessas (Figura 15B), providas de pontoações simples, menores do que 3 μm de diâmetro. Fibras gelatinosas abundantes, distintas pela coloração e espessura anormal das paredes (Figura 15B,C). Traqueídeos vasculares, traqueídeos vasicêntricos e espessamentos helicoidais, ausentes.

* $X \pm S$ (valor mínimo – valor máximo), em que: x = média; s = desvio padrão.

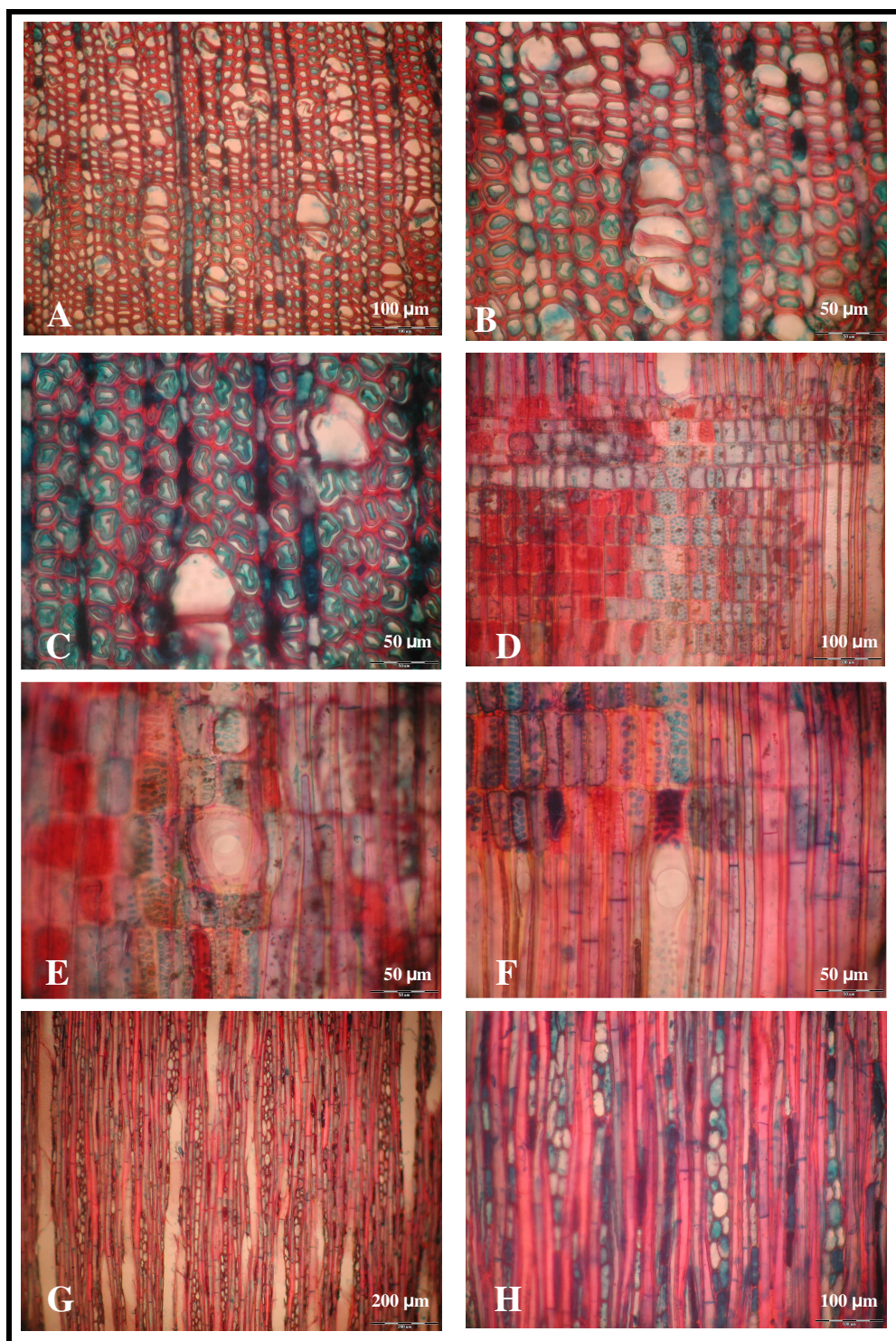


Figura 15 – Detalhes anatômicos da madeira de *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg. A – limite de anel de crescimento, porosidade semi-difusa e vasos em múltiplos radiais, em plano transversal; B – mesmos aspectos, em maior aumento (destaque para as fibras com parede estreita até espessa); C – fibras gelatinosas, em plano transversal; D – raios heterogêneos, em plano radial; E – célula perfurada de raio, em plano radial; F – placa de perfuração simples e fibras septadas, em plano radial; G – raios com 1-3 células de largura, em plano tangencial; H – mesmos aspectos, com maior aumento (Fotos: Luciano Denardi).

4.1.1.2 *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg.

Aspectos gerais: tecido lenhoso composto predominantemente por fibras (64%), seguido de raios (15%), vasos (15%) e parênquima axial (6%). Anéis de crescimento fracamente demarcados por estreito lenho tardio, com fibras achatadas radialmente (Figura 16A, B).

Vasos: em distribuição difusa, dispostos em múltiplos radiais de 2 – 4 (Figura 16A), excepcionalmente até mais de 6, com frequência de 75 ± 49 (25 – 200) vasos/mm². De seção circular, medem 48 ± 14 (18 – 72) μm de diâmetro, com paredes de $4,5 \pm 1$ (2,9 – 7,5) μm de espessura. Elementos vasculares de 474 ± 121 (220 – 760) μm de comprimento, com apêndices ocasionalmente presentes e placas de perfuração simples, oblíquas (Figura 16F, H). Espessamentos helicoidais, tiloses e depósitos, ausentes. Pontoações intervasculares alternas, poligonais, de 5,8 – 8,4 μm de diâmetro, com abertura em fenda inclusa. Pontoações raio-vasculares com bordas distintas, semelhantes às intervasculares quanto ao tamanho, porém arredondadas.

Parênquima axial: apotraqueal difuso (Figura 16B), disposto em séries de 4 a 8 células. Inclusões minerais, ausentes no material observado.

Raios: com frequência média de 17/mm e 1 – 2 células de largura (Figura 16G, H); os raios são heterogêneos, reunindo células eretas e quadradas (Figura 16D, E). Os unisseriados, medem 246 ± 96 (101 – 499) μm de altura por 12 ± 2 (7 – 17) μm de largura; os multisseriados (bi, excepcionalmente trisseriados), com 455 ± 145 (234 – 802) μm de altura por 22 ± 3 (16 – 27) μm de largura. Células perfuradas de raio ocasionais, maiores do que as adjacentes e providas de 1 – 2 perfurações simples (Figura 16E). Canais intercelulares, tubos laticíferos e inclusões minerais, ausentes.

Fibras: libriformes, não-septadas, de 661 ± 99 (470 – 890) μm de comprimento e com paredes muito estreitas (Figura 16B), providas de pontoações areoladas diminutas, com abertura em fenda exclusiva, geralmente cruzadas em “x” no par. Fibras gelatinosas abundantes, reconhecidas pela coloração distinta das demais e pela espessura anormal de suas paredes (Figura 16C). Traqueídeos vasculares, traqueídeos vasicêntricos e espessamentos helicoidais, ausentes.

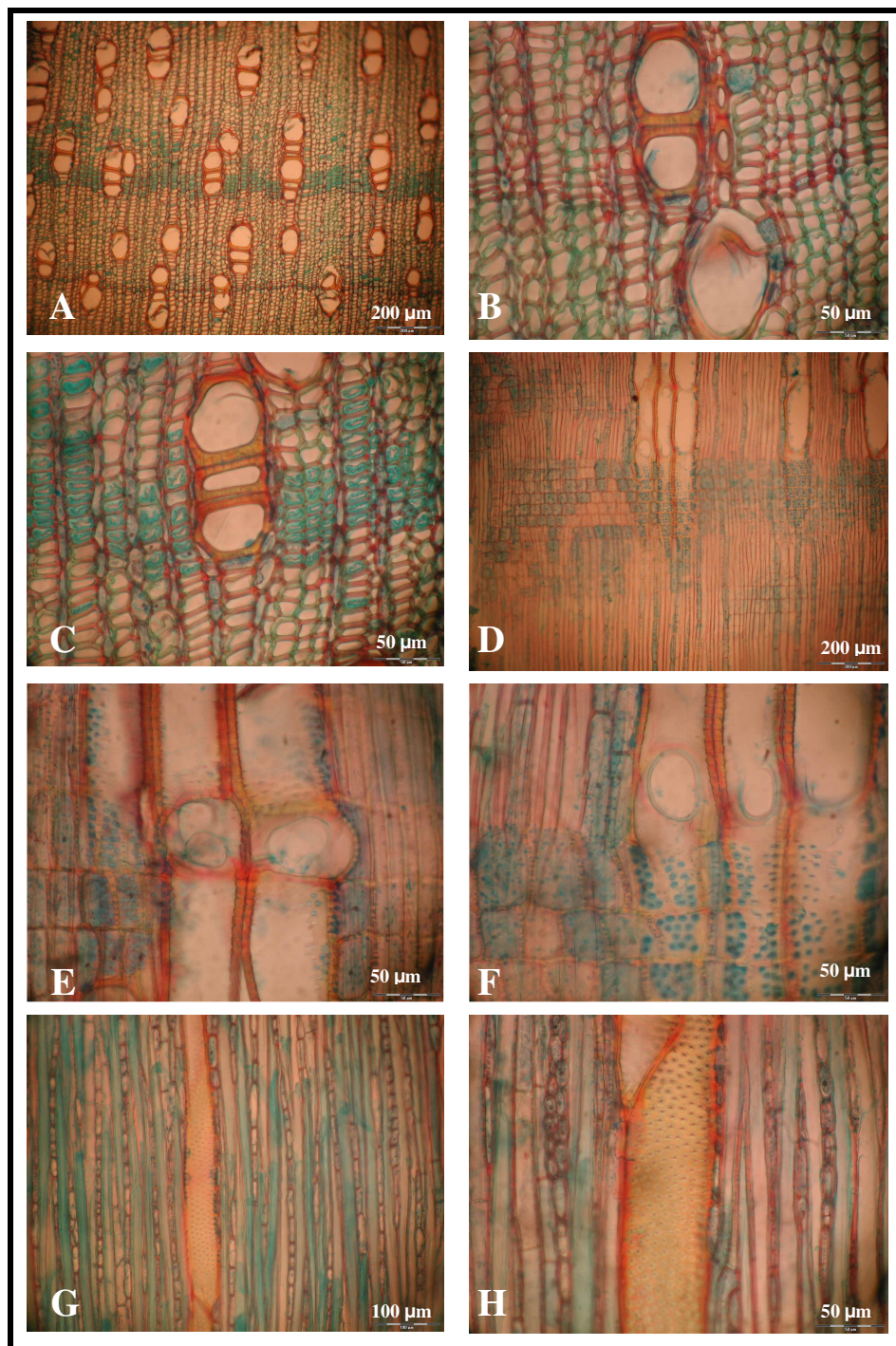


Figura 16 – Detalhes anatômicos da madeira de *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg. A – limite de anel de crescimento, porosidade difusa e vasos em múltiplos radiais, em plano transversal; B – mesmos aspectos, em maior aumento, com destaque para o parênquima apotraqueal difuso e fibras de parede muito estreita; C – fibras gelatinosas, em plano transversal; D – raios heterogêneos, em plano radial; E – células perfuradas de raio, em plano radial; F – placa de perfuração simples, em plano radial; G – raios com 1 à 2 células de largura, em plano tangencial; H – mesmos aspectos, em maior aumento (Fotos: Luciano Denardi).

4.1.1.3 *Salix humboldtiana* Willd.

Aspectos gerais: lenho composto principalmente por fibras (62%), seguido de vasos (23%), raios (13%) e apenas 2% de parênquima axial. Anéis de crescimento demarcados por estreita camada de fibras achatadas radialmente e parênquima marginal, bem como pelos poros ligeiramente maiores, no começo do lenho inicial (Figura 17A, B).

Vasos: em distribuição semi-difusa, solitários ou dispostos em múltiplos radiais de 2 – 3 (Figura 17A), com frequência de 94 ± 32 (50 – 150) vasos/mm². Poros de seção poligonal, de 64 ± 10 (41 – 85) μm de diâmetro, com paredes de $2,2 \pm 1$ (1,2 – 7,8) μm de espessura. Elementos vasculares de 386 ± 100 (170 – 540) μm de comprimento, providos de apêndices e placas de perfuração simples (Figura 17F), oblíquas. Espessamentos helicoidais, tiloses e depósitos, ausentes. Pontoações intervasculares alternas, poligonais, de 6,0 – 7,7 μm de diâmetro, com aberturas elípticas. Pontoações raio-vasculares aparentemente simples e poligonais, com bordas reduzidas; medem 4,6 – 6,8 μm de diâmetro e ocorrem, sobretudo, nas extremidades dos raios (Figura 17F).

Parênquima axial: marginal, disposto em séries de 2 – 3 células, formando faixas mais ou menos contínuas no limite do anel de crescimento (Figura 17B). Inclusões minerais, ausentes no material estudado.

Raios: com frequência de 16/mm, são exclusivamente unisseriados (Figura 17G, H) e heterogêneos, reunindo células procumbentes, quadradas e eretas (Figura 17E, F); medem 219 ± 80 (75 – 427) μm de altura por 13 ± 2 (8 – 16) μm de largura. Células perfuradas de raio, canais intercelulares, tubos lactíferos e inclusões minerais, ausentes.

Fibras: não-septadas, de 643 ± 87 (480 – 840) μm de comprimento e paredes muito estreitas (Figura 17B), com pontoações simples, de abertura circular. Fibras gelatinosas abundantes, distintas em plano transversal pela coloração (Figura 17A, C). Traqueídeos vasculares, traqueídeos vasicêntricos e espessamentos helicoidais, ausentes.

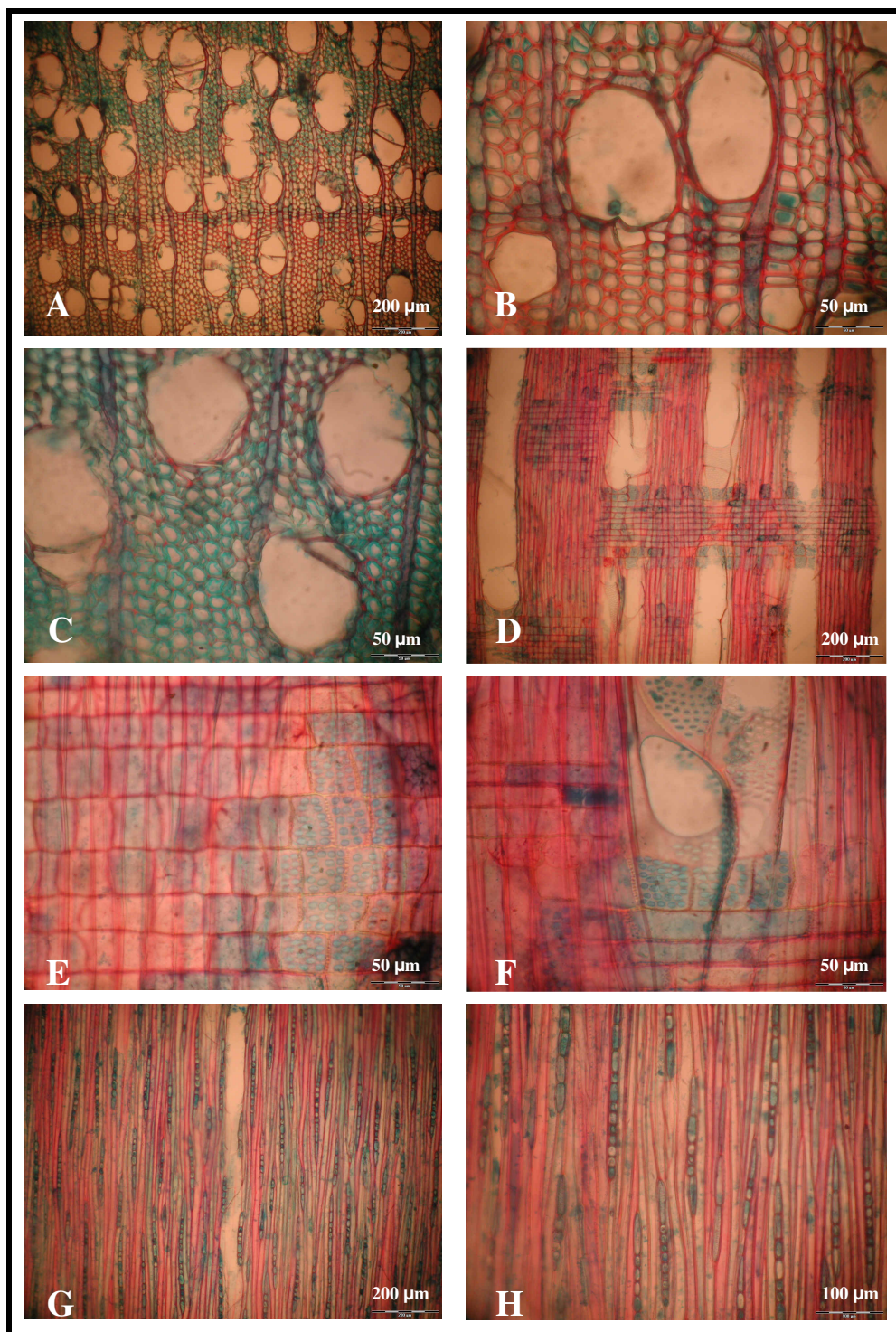


Figura 17 – Detalhes anatômicos da madeira de *Salix humboldtiana* Willd. A – limite de anel de crescimento, porosidade semi-difusa, vasos em múltiplos radiais e abundante presença de fibras gelatinosas, em plano transversal; B – mesmos aspectos, em maior aumento, com destaque para o parênquima marginal e fibras de parede muito estreita; C – fibras gelatinosas, em plano transversal; D – pontuações raio-vasculares nas extremidades dos raios, em plano radial; E – raio heterogêneo, em plano radial; F – placa de perfuração simples, em plano radial; G – raios exclusivamente unisseriados, em plano tangencial; H – mesmos aspectos, em maior aumento (Fotos: Luciano Denardi).

4.1.1.4 *Salix x rubens* Schrank

Aspectos gerais: lenho composto principalmente por fibras (58%), seguido de vasos (30%), raios (10%) e apenas 1% de parênquima axial. Anéis de crescimento demarcados usualmente por uma camada de fibras radialmente achatadas e com paredes relativamente espessas no final do lenho tardio, bem como pelos poros de maior diâmetro, no início do anel seguinte (Figura 18A, B).

Vasos: em distribuição semi-difusa, solitários ou dispostos em múltiplos radiais de 2 – 3 (Figura 18A), com frequência de 87 ± 30 (50 – 125) vasos/mm². De seção poligonal, medem 57 ± 10 (34 – 82) μm de diâmetro, com paredes de $3 \pm 0,7$ (1,5 – 4,1) μm de espessura. Elementos vasculares de 383 ± 66 (250 – 490) μm de comprimento, com placas de perfuração simples, oblíquas (Figura 18F, H), raramente providos de apêndices. Espessamentos helicoidais, tiloses e depósitos, ausentes. Pontoações intervasculares alternas, poligonais, de 7,7 – 9,2 μm de diâmetro e com aberturas elípticas. Pontoações raio-vasculares poligonais e de bordas reduzidas (aparentemente simples), medindo 4,3 – 9,2 μm de diâmetro, presentes, sobretudo, nas extremidades dos raios (Figura 18E, F).

Parênquima axial: extremamente escasso e aparentemente marginal, sem formar faixas contínuas no limite do anel de crescimento (Figura 18B). Inclusões minerais, ausentes no material estudado.

Raios: com frequência média de 16/mm e exclusivamente unisseriados (Figura 18G,H). São heterogêneos, reunindo células procumbentes, eretas e quadradas (Figura 18E,F); medem 139 ± 64 (50 – 292) μm de altura por $12 \pm 1,3$ (10 – 15) μm de largura. Células perfuradas de raio, canais intercelulares, tubos lactíferos e inclusões minerais, ausentes.

Fibras: não-septadas, de 783 ± 178 (480 – 1160) μm de comprimento, com paredes muito estreitas (Figura 18B), providas de pontoações simples, com abertura geralmente em forma de fenda. Fibras gelatinosas abundantes, distintas pela coloração atípica e espessamento anormal da parede (Figura 18A, B, C). Traqueídeos vasculares, traqueídeos vasicêntricos e espessamentos helicoidais, ausentes.

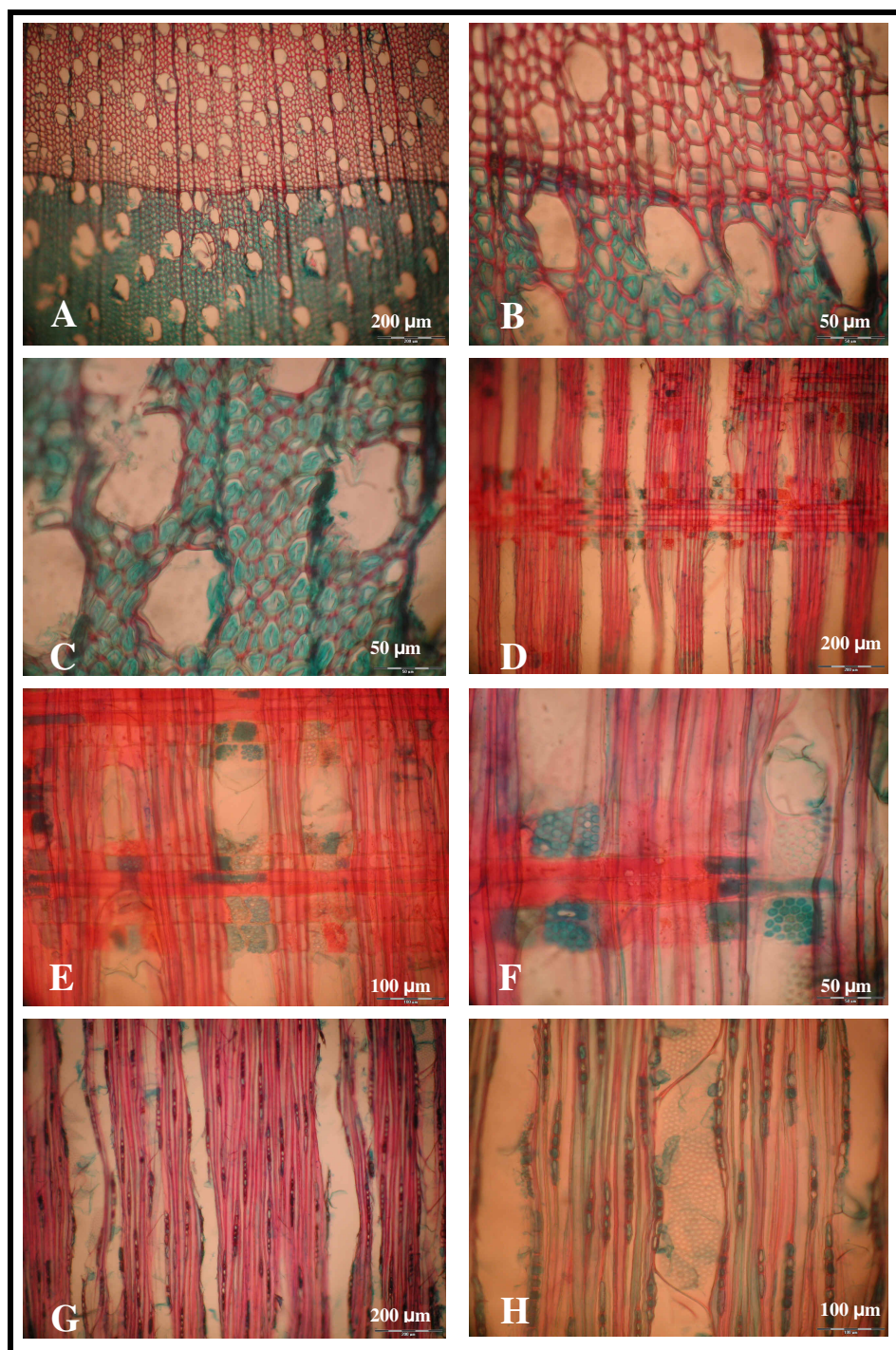


Figura 18 – Detalhes anatômicos da madeira de *Salix x rubens* Shrank. A – limite de anel de crescimento, porosidade semi-difusa, vasos em múltiplos radiais e abundante presença de fibras gelatinosas, em plano transversal; B – mesmos aspectos, em maior aumento, com destaque para as fibras de parede muito estreita e as raras células de parênquima axial no término do anel de crescimento; C – fibras gelatinosas, em plano transversal; D – aspecto geral dos raios, em plano radial; E – raios heterogêneos e pontoações raio-vasculares nas extremidades, em plano radial; F – placa de perfuração simples, em plano radial; G – raios exclusivamente unisseriados, em plano tangencial; H – mesmos aspectos, em maior aumento (Fotos: Luciano Denardi).

4.1.2 Análise da estrutura anatômica sob o enfoque taxonômico

Cabe comentar, inicialmente, que a Botânica Sistemática passa por uma fase de profundas mudanças em função dos recentes avanços nos estudos filogenéticos. Nesse sentido, diversas famílias botânicas estão sendo reordenadas, sendo este um campo ainda aberto à pesquisa.

A anatomia da madeira, por sua vez, não tem acompanhado, com a mesma velocidade, as referidas mudanças; prova disso, é que ainda não foram estabelecidos padrões anatômicos para famílias recentemente desmembradas (Phyllanthaceae, por exemplo) ou que sofreram alterações (Euphorbiaceae e Salicaceae). Nesse sentido, a análise da madeira das espécies em estudo foi realizada com base na literatura anatômica disponível.

A estrutura anatômica das madeiras de *Phyllanthus sellowianus* (Phyllanthaceae) e *Sebastiania schottiana* (Euphorbiaceae) concorda, em linhas gerais, com o descrito por Record e Hess (1942), Metcalfe e Chalk (1972) e Marchiori (2000) para a “antiga” família Euphorbiaceae.

No presente estudo, verificaram-se importantes diferenças qualitativas entre *P. sellowianus* e *S. schottiana*: a primeira dessas, destacando-se pelas fibras septadas e pela ausência de parênquima axial. Quantitativamente, com exceção da frequência e do diâmetro médio de vasos, as características mostraram-se semelhantes. A anatomia da madeira, nesse caso, corrobora ao desmembramento das Phyllanthaceae, com relação às Euforbiáceas *sensu lato*.

A ausência de parênquima axial e de cristais de sílica nos raios, constatada em *Phyllanthus sellowianus*, difere do referido por Metcalfe e Chalk (1972) e Record e Hess (1942) para o gênero em questão; a frequência e a largura de raios, bem como a disposição das pontoações intervasculares presentemente observada, concorda, todavia, com o descrito por estes autores.

O conjunto de caracteres, verificado no lenho de *Sebastiania schottiana*, concorda com o padrão estabelecido por Record e Hess (1942) para este gênero. Destaca-se, todavia, a ausência de tubos lactíferos em sua madeira, aspecto constante em algumas espécies do gênero.

A estrutura anatômica da madeira de *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens* (Salicaceae) concorda com o descrito por Record e Hess (1942) e Metcalfe e Chalk (1972) para os gêneros *Salix* e *Populus*. Com relação à composição do tecido lenhoso, os valores encontrados foram semelhantes aos observados pela FAO (1980).

Na madeira de *S. humboldtiana* e *S. x rubens*, constatou-se porosidade semi-difusa (Figura 17A e 18A, respectivamente), fato que contradiz a literatura anatômica, que é unânime em considerá-la como difusa. A esse respeito, cabe comentar que presença de vasos maiores no lenho inicial tornou-se, inclusive, fundamental para a visualização dos anéis de crescimento destas espécies, mediante a técnica desenvolvida para tal fim.

A presente descrição do lenho de *S. humboldtiana*, difere em alguns aspectos quantitativos do apresentado por Wiedenbrug (1948) e Tortorelli (1956). Essas diferenças podem ser atribuídas principalmente a dois fatores: a) diferentes ambientes de coleta de material, posto que a anatomia da madeira costuma sofrer influência do meio externo, fato exaustivamente referido em trabalhos de anatomia ecológica (Baas, 1973; Baas e Carlquist, 1985; Barajas-Morales, 1985; Lindorf, 1994; Ceccantini, 1996; Denardi, 2004); b) as amostras de madeira foram extraídas de caules com até 7 cm de diâmetro (provavelmente de lenho juvenil, se levado em conta o porte típico de indivíduos adultos), o que certamente não ocorreu nos trabalhos de Wiedenbrug (1948) e Tortorelli (1956), que visavam, exclusivamente, à descrição anatômica da madeira.

A descrição da madeira de *S. x rubens*, presentemente realizada, assemelha-se com a de Wagner (2005); no entanto, alguns aspectos qualitativos merecem especial atenção: a) a referida autora, devido ao exame de caules muito jovens (com menos de 1 ano), atribuiu precocemente a presença de porosidade difusa; b) provavelmente pelo mesmo motivo, não foi referido a presença de parênquima axial, uma vez que o mesmo encontra-se escassamente no término do anel, conforme descrito neste trabalho.

Apesar da comparação anatômica entre as madeiras de *S. humboldtiana* e *S. x rubens* não ser o objetivo principal desta pesquisa, alguns aspectos merecem destaque, já que essas madeiras são anatomicamente muito semelhantes. Em *S. humboldtiana*, as pontoações das fibras são predominantemente arredondadas e o parênquima axial, terminal, forma faixas contínuas de largura variável (2 – 3 células); em *S. x rubens*, ao contrário, o parênquima axial dispõe-se em pequenas linhas tangenciais no término do anel de crescimento, sem formar faixas contínuas, e as pontoações das fibras freqüentemente apresentam-se em forma de fenda.

Os aspectos quantitativos do lenho de *S. humboldtiana* e *S. x rubens* não foram levados em conta para sua distinção, pois, como referido anteriormente, as amostras de madeira de ambas as espécies foram extraídas provavelmente de lenho juvenil, o qual é marcado, sobretudo, por diferenças nas dimensões celulares (Carvalho, 1962; Panshin e Zeeuw, 1970; Burger e Richter, 1991).

4.1.3 Análise da estrutura anatômica sob o enfoque tecnológico

Esta análise buscou reconhecer variações de alguns caracteres anatômicos da madeira de *P. sellowianus*, *S. schottiana*, *S. humboldtiana* e *S. x rubens*, que poderão servir de base para explicar, pelo menos em parte, o comportamento dos caules com relação a flexibilidade e a resistência.

Em linhas gerais, a estrutura anatômica dessas madeiras mostrou-se semelhante nos seguintes aspectos: vasos pequenos e dispostos em múltiplos radiais ou solitários, parênquima axial ausente ou escasso, raios estreitos e presença de fibras gelatinosas.

Na Figura 19, observa-se a composição do tecido lenhoso em caules de diferentes diâmetros de cada uma das espécies.

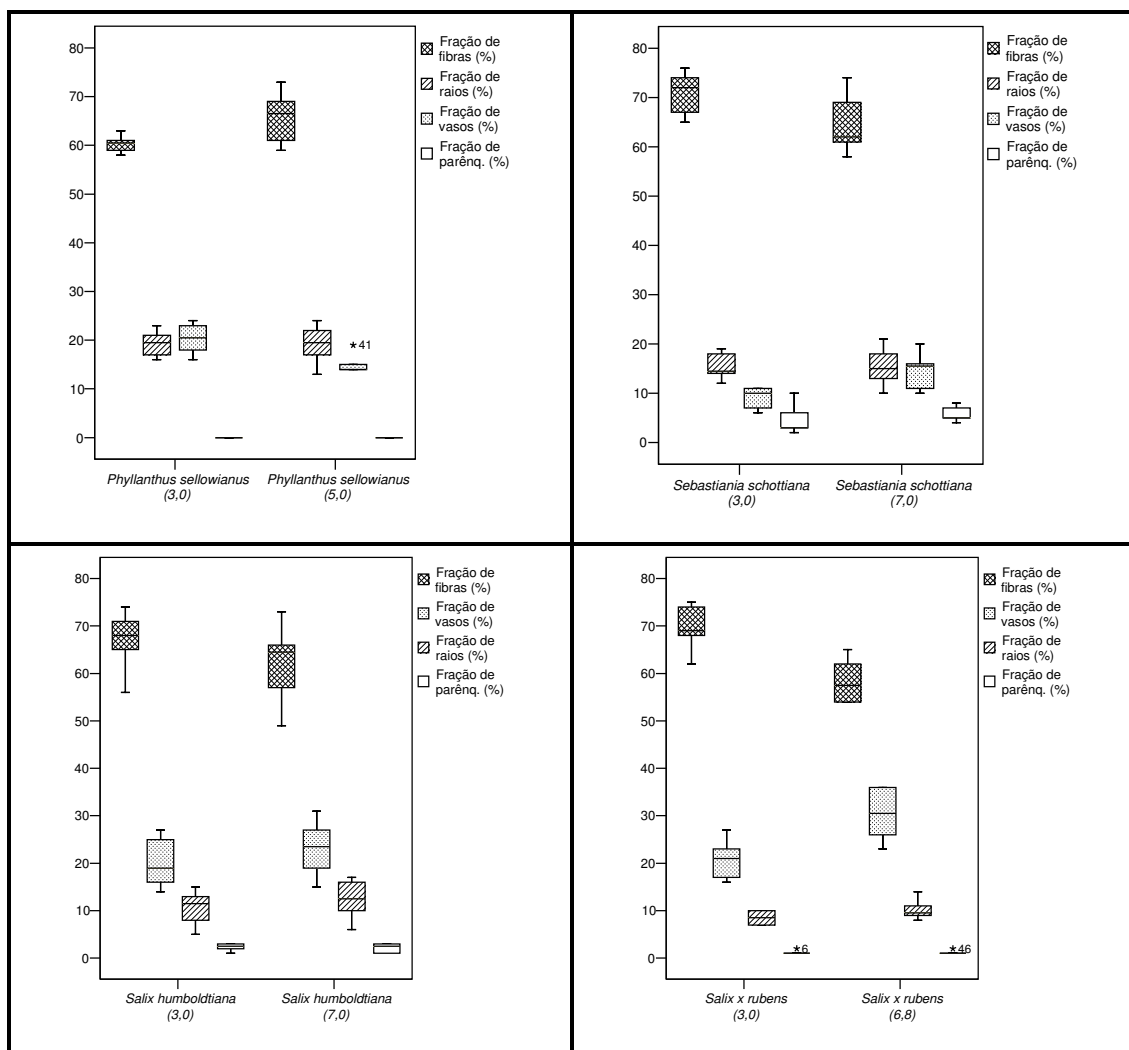


Figura 19 – Composição do tecido lenhoso de *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, para diferentes diâmetros do caule (indicado entre parênteses).

Na Figura 19, chama atenção a semelhança entre *P. sellowianus*, *S. schottiana*, *S. humboldtiana*, *S. x rubens*, com relação a composição do tecido lenhoso. Observando-se conjuntamente as referidas espécies, vê-se que percentual geral de vasos, em termos medianos, é de aproximadamente 10 – 30%; parênquima axial (0 – 5%); raios (10 – 20%) e fibras (60 – 70%). Nota-se claramente, para cada espécie, que o percentual destes tecidos pouco varia entre os caules de diferentes diâmetros.

Apesar da relativa homogeneidade destas madeiras, até então constatada, serão feitas observações mais detalhadas para cada um dos caracteres acima referidos.

Os vasos compõem cerca de 15 – 20 % do tecido lenhoso em *P. sellowianus*, de 10 – 15% em *S. schottiana*, de 20 – 25% em *S. humboldtiana* e de 20 – 30% em *S. x rubens*. Para as três últimas espécies, verificou-se que este percentual mediano de vasos é um pouco mais elevado nos caules de maior diâmetro, ao passo que, em *P. sellowianus*, essa tendência mostrou-se inversa (Figura 19).

Com relação ao diâmetro de vasos, *S. humboldtiana* foi a espécie que apresentou valores medianos mais elevados, seguido de *S. x rubens*, *S. schottiana* e *P. sellowianus*. Independentemente da espécie, foram observados vasos maiores nos caules de maior diâmetro (Figura 20A); esta tendência pode, também, ser constatada visualmente na Figura 24.

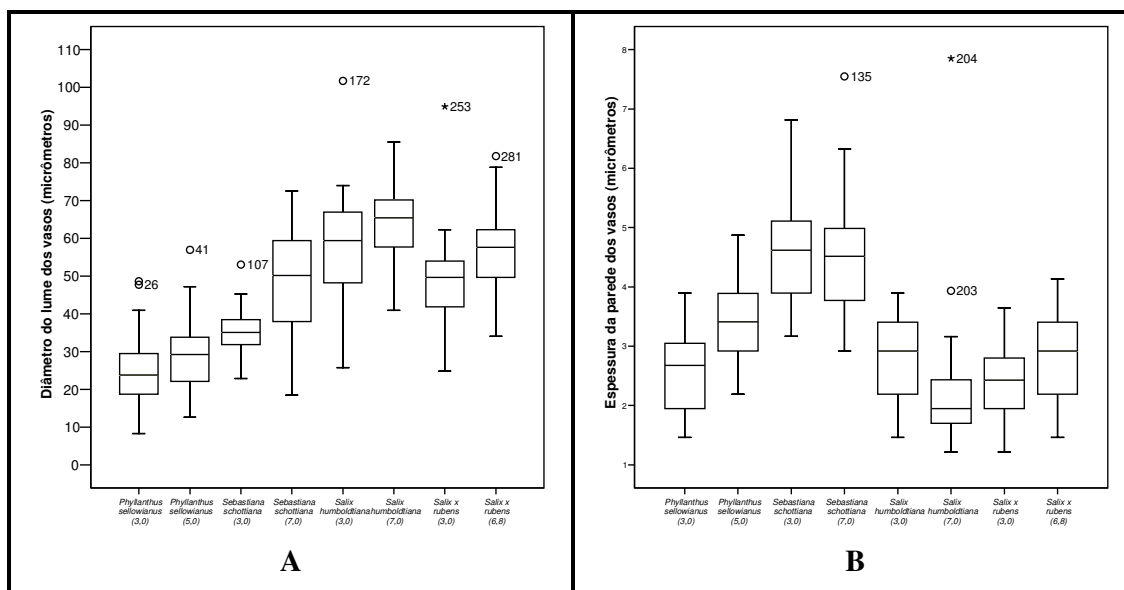


Figura 20 – Diâmetro do lume dos vasos (A) e espessura da parede dos vasos (B) de *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, para diferentes diâmetros do caule (indicado entre parênteses).

A espessura da parede dos vasos é nitidamente maior em *S. schottiana* (Figura 20B), fato que também pode ser constatado visualmente (Figura 24C, D). Esta característica mostrou-se, em linhas gerais, semelhante entre as demais espécies.

No que diz respeito ao comprimento de elementos vasculares, observa-se grande semelhança entre as espécies, principalmente com relação a valores medianos (Figura 21).

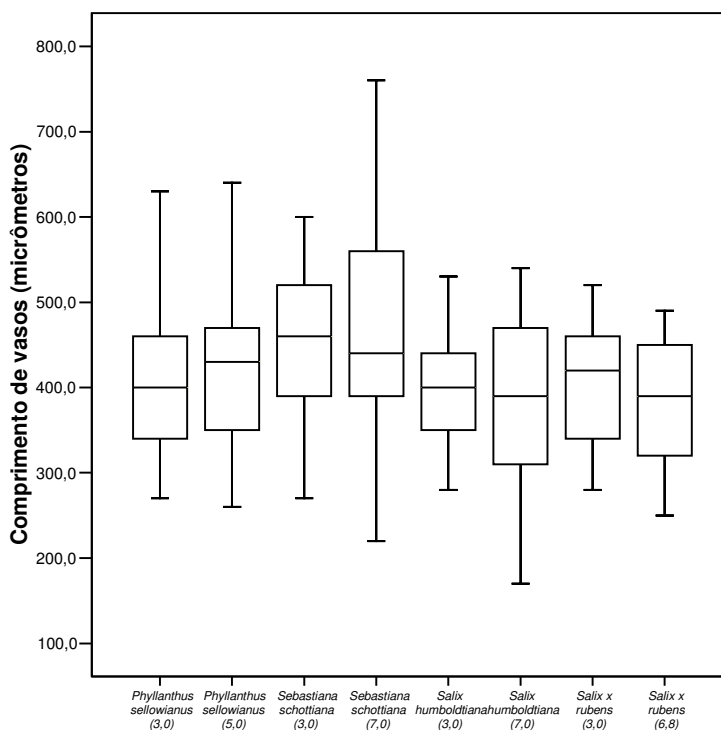


Figura 21 – Comprimento dos vasos de *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, para diferentes diâmetros do caule (indicado entre parênteses).

O parênquima axial é ausente em *P. sellowianus*. Em *S. schottiana*, esse tecido representa cerca de 5% do lenho, ao passo que, nas espécies de *Salix*, os valores são ainda menores. As variações do percentual desse tecido, em caules de diferentes diâmetros, podem ser consideradas desprezíveis (Figura 19).

Em valores medianos aproximados, verificou-se que os raios correspondem a 20% do lenho de *P. sellowianus*, baixando para 15% em *S. schottiana* e apenas 10% em *S. humboldtiana* e *S. x rubens*. Independentemente do diâmetro dos caules, esses valores permaneceram praticamente inalterados (Figura 19).

Os raios unisseriados, que estão presentes nas quatro espécies em estudo, serão analisados com base nas Figuras 22A, B.

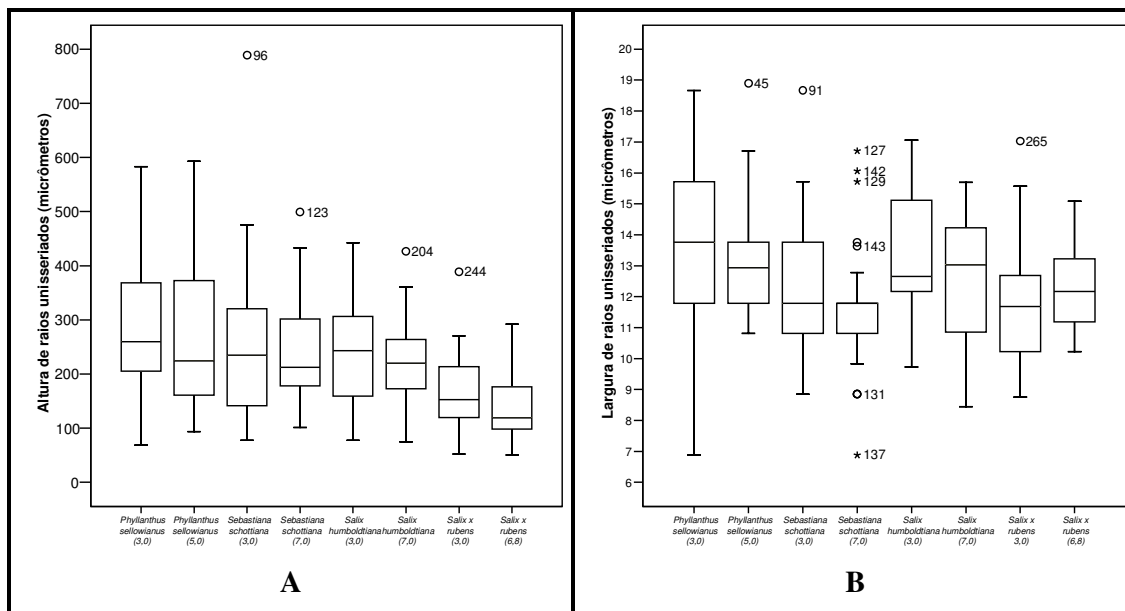


Figura 22 – Altura (A) e largura (B) dos raios unisseriados de *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, para diferentes diâmetros do caule (indicado entre parênteses).

Mesmo com grande amplitude de variação, a altura dos raios, em valores medianos, mostrou-se semelhante entre as espécies (Figura 22A). Verificou-se ainda, que os raios tendem a ser mais curtos em caules de maior diâmetro.

Com relação à largura dos raios unisseriados (Figura 22B), também observou-se grande amplitude de variação; mesmo assim, os valores medianos ficaram bem próximos entre as diferentes espécies (12 – 14 μm), independente do diâmetro de seus caules.

A presença de raios multisseriados foi constatada apenas em *P. sellowianus* e *S. schottiana*, conforme já referido na descrição destas espécies. Nas Figuras 23A, B, pode-se observar, comparativamente, as dimensões destes raios.

Em *P. sellowianus*, observa-se que a altura e a largura dos raios, em valores medianos, bem como a amplitude dos valores, é bastante semelhante entre os diferentes caules; em *S. schottiana*, tanto a altura como a largura é maior nos caules mais espessos (Figura 23A, B).

Em linhas gerais, pode-se dizer que os raios de *P. sellowianus* e *S. schottiana* possuem altura equivalente, ao passo que a largura, é visivelmente maior na primeira destas espécies (Figura 23A, B).

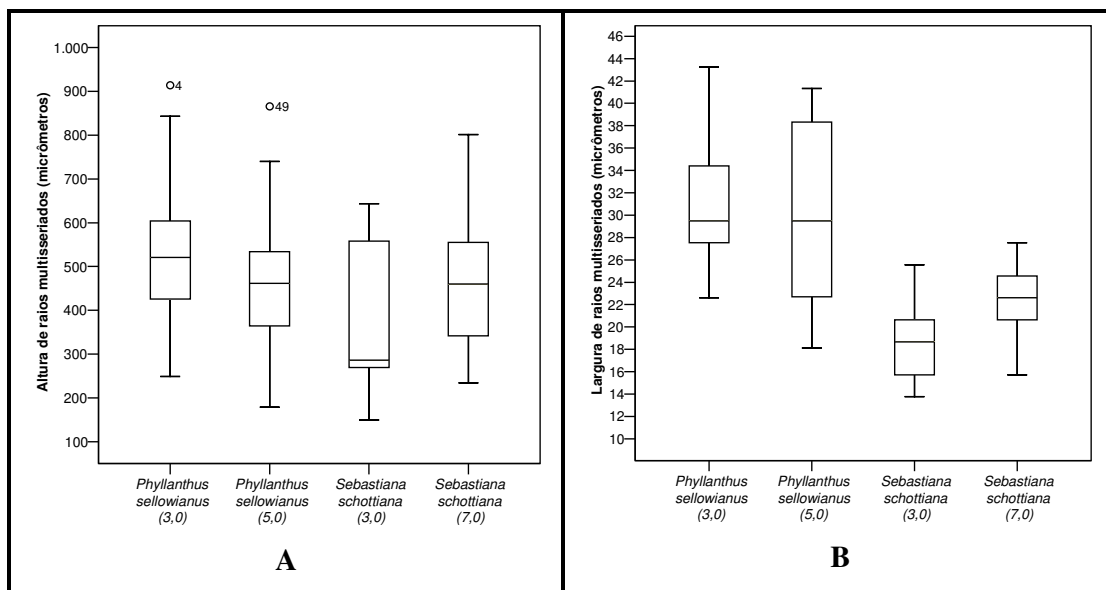


Figura 23 – Altura (A) e largura (B) dos raios multisseriados de *Phyllanthus sellowianus* e *Sebastiana schottiana*, para diferentes diâmetros do caule (indicado entre parênteses).

Com relação às fibras, vale lembrar que elas constituem a maior porção do tecido lenhoso das espécies em estudo (60 – 70%), sendo consideradas, por diversos autores, como uma das principais responsáveis pela resistência das madeiras de Angiospermas Dicotiledôneas.

Em todas as espécies, observou-se uma pequena variação no percentual (mediano) de fibras em função do diâmetro dos caules (Figura 19). Em *S. schottiana*, *S. humboldtiana* e *S. x rubens*, a redução no percentual deste tecido, verificada nos caules de maior diâmetro, foi compensada pelo aumento na percentagem de vasos; em *P. sellowianus*, constatou-se exatamente o contrário.

Embora avaliada de forma subjetiva, conforme recomendações do IAWA Committee (1989), a espessura da parede das fibras mostrou-se muito estreita em *S. schottiana*, *S. humboldtiana* e *S. x rubens*, independentemente do diâmetro do caule; em *P. sellowianus*, ao contrário, elas mostraram-se relativamente mais espessas. Tais aspectos, podem ser constatados visualmente na Figura 24.

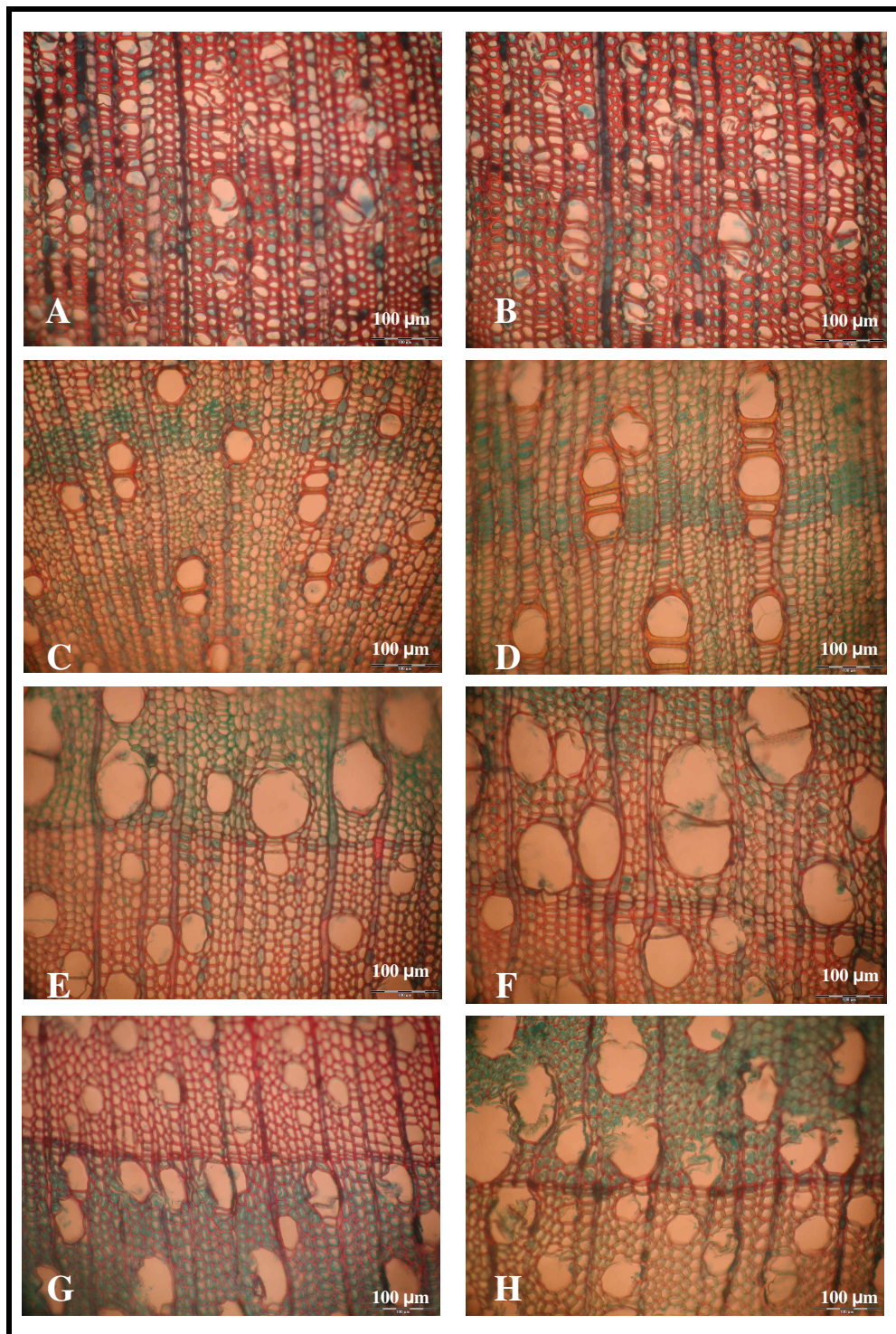


Figura 24 – Comparação visual do diâmetro e da espessura da parede de vasos e fibras, entre caules de diferentes dimensões, para cada uma das espécies em estudo. A, B – *Phyllanthus sellowianus* com caule de 3,0 e 5,0 cm de diâmetro, respectivamente; C, D – *Sebastiania schottiana* com caule de 3,0 e 7,0 cm de diâmetro, respectivamente; E, F – *Salix humboldtiana* com caule de 3,0 e 7,0 cm de diâmetro, respectivamente; G, H – *Salix x rubens* com caule de 3,0 e 6,8 cm de diâmetro, respectivamente (Fotos: Luciano Denardi).

Em todas as espécies, observou-se uma grande amplitude de variação no comprimento de fibras; mesmo assim, os valores medianos, mínimos e máximos foram próximos entre si, exceção feita apenas para o indivíduo de maior diâmetro de *S. x rubens*, cujos valores foram mais elevados (Figura 25A).

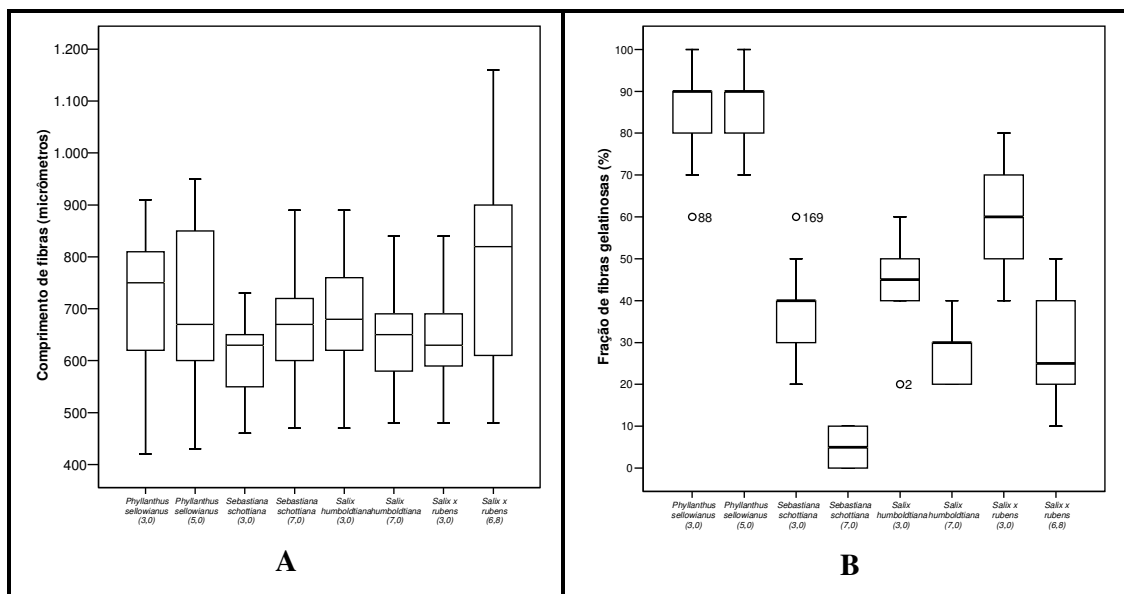


Figura 25 – Comprimento de fibras, incluindo as normais e gelatinosas (A) e fração de fibras gelatinosas (B) de *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, para diferentes diâmetros do caule (indicado entre parênteses).

Um dos traços mais característicos constatado no lenho das quatro espécies em estudo – e talvez o mais importante para a questão da flexibilidade dos caules – foi a presença de fibras gelatinosas. Se, por um lado, o percentual geral de fibras mostrou-se semelhante entre as espécies (60 – 70%); por outro, foram encontradas diferenças marcantes com relação ao percentual de fibras gelatinosas (Figura 25B).

P. sellowianus apresentou percentual médio mais elevado de fibras gelatinosas (cerca de 90%), permanecendo esse valor inalterado, independente do diâmetro dos caules. Nas demais espécies, além de menor percentual de fibras gelatinosas, comparado a *P. sellowianus*, verificou-se uma diminuição acentuada do caráter nos caules de maior diâmetro (Figura 25B).

Em suma, a comparação de caules com diferentes diâmetros, realizada para cada espécie, revelou variações na composição do tecido lenhoso, no diâmetro de vasos, no comprimento de fibras e nas dimensões de raios. Tais resultados eram até certo ponto previsíveis, tendo-se em vista que modificações no sentido medula-casca são experimentalmente comprovadas (Panshin e Zeeuw, 1970; Ramsay e Briggs, 1986; Burger e Richter, 1991).

4.2 Flexibilidade do caule

4.2.1 Estatística descritiva e considerações preliminares

Nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 são exibidos os resultados do estudo da flexibilidade dos caules, para cada uma das espécies.

Tabela 6 – Resultados relativos aos testes de flexão estática e de outras variáveis para *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.

Flexão estática					
Variáveis	MÍN	X	MÁX	S	CV_%
Diâmetro dos caules (cm)	1,2	2,7	4,7	1,0	37,0
Módulo de elasticidade (kgf/cm ²)	17981,0	38261,5	73367,0	11045,0	28,9
Módulo de ruptura (kgf/cm ²)	293,0	556,6	1158,0	152,3	27,4
Ângulo de flexibilidade (°)	22,0	39,3	73,0	11,5	29,3
Tensão no limite proporcional (kgf/cm ²)	103,7	289,0	445,7	78,0	27,0
Deslocamento no limite proporcional (cm)	0,26	0,71	1,48	0,2	28,2
Deslocamento máximo (cm)	2,50	6,50	9,20	1,8	27,7
Outras variáveis					
Peso específico aparente básico (g/cm ³)	0,45	0,51	0,58	0,03	5,9
Teor de umidade (%)	100,0	123,0	150,0	12,1	9,8
Espessura de casca (cm)	0,05	0,13	0,20	0,05	38,4
Porcentagem de casca (%)	10,2	16,8	26,5	3,6	21,4
Idade (anos)	3,0	6,0	12,0	2,6	43,3

Resultados obtidos com o uso de 50 corpos-de-prova, em que: MÍN = valor mínimo; X = média; MÁX = valor máximo; S = desvio padrão; CV_% = coeficiente de variação (S/X) x 100.

Tabela 7 – Resultados relativos aos testes de flexão estática e de outras variáveis para *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg.

Flexão estática					
Variáveis	MÍN	X	MÁX	S	CV_%
Diâmetro dos caules (cm)	1,0	3,1	6,0	1,2	38,7
Módulo de elasticidade (kgf/cm ²)	22853,0	42874,1	142477,0	18670,6	43,5
Módulo de ruptura (kgf/cm ²)	300,0	451,5	949,0	134,9	29,9
Ângulo de flexibilidade (°)	14	32,1	74,0	15,2	47,3
Tensão no limite proporcional (kgf/cm ²)	145,6	230,9	367,5	52,9	22,8
Deslocamento no limite proporcional (cm)	0,10	0,62	1,40	0,3	48,4
Deslocamento máximo (cm)	2,30	5,77	9,50	2,1	36,4
Outras variáveis					
Peso específico aparente básico (g/cm ³)	0,31	0,38	0,45	0,03	7,9
Teor de umidade (%)	65,0	85,4	116,0	12,3	14,4
Espessura de casca (cm)	0,05	0,10	0,20	0,03	30,0
Porcentagem de casca (%)	6,8	12,1	19,0	2,9	24,0
Idade (anos)	2,0	5,0	8,0	1,7	34,0

Resultados obtidos com o uso de 50 corpos-de-prova, em que: MÍN = valor mínimo; X = média; MÁX = valor máximo; S = desvio padrão; CV_% = coeficiente de variação (S/X) x 100.

Tabela 8 – Resultados relativos aos testes de flexão estática e de outras variáveis para *Salix humboldtiana* Willd.

Flexão estática					
Variáveis	MÍN	X	MÁX	S	CV%
Diâmetro dos caules (cm)	1,2	4,0	7,0	1,7	42,5
Módulo de elasticidade (kgf/cm ²)	17055,0	30398,9	74254,0	10787,5	35,5
Módulo de ruptura (kgf/cm ²)	210,0	319,5	626,0	86,4	27,0
Ângulo de flexibilidade (°)	13,0	25,5	67,0	9,8	38,4
Tensão no limite proporcional (kgf/cm ²)	118,8	184,5	286,3	46,2	25,0
Deslocamento no limite proporcional (cm)	0,20	0,85	2,00	0,4	47,0
Deslocamento máximo (cm)	2,70	5,73	8,80	1,5	26,2
Outras variáveis					
Peso específico aparente básico (g/cm ³)	0,32	0,36	0,41	0,02	5,5
Teor de umidade (%)	75,9	102,1	136,4	17,6	17,2
Espessura de casca (cm)	0,05	0,29	0,65	0,2	69,0
Porcentagem de casca (%)	12,1	25,0	35,4	5,5	22,0
Idade (anos)	2,0	4,0	7,0	1,7	42,5

Resultados obtidos com o uso de 50 corpos-de-prova, em que: MÍN = valor mínimo; X = média; MÁX = valor máximo; S = desvio padrão; CV% = coeficiente de variação (S/X) x 100.

Tabela 9 – Resultados relativos aos testes de flexão estática e de outras variáveis para *Salix x rubens* Shrank.

Flexão estática					
Variáveis	MÍN	X	MÁX	S	CV%
Diâmetro dos caules (cm)	1,1	3,4	6,8	1,4	41,2
Módulo de elasticidade (kgf/cm ²)	21313,0	42620,5	75123,0	13579,2	31,8
Módulo de ruptura (kgf/cm ²)	246,0	379,5	713,0	85,4	22,5
Ângulo de flexibilidade (°)	12,0	21,7	56,0	8,2	37,8
Tensão no limite proporcional (kgf/cm ²)	118,2	220,8	364,6	55,0	24,9
Deslocamento no limite proporcional (cm)	0,20	0,63	1,60	0,3	47,6
Deslocamento máximo (cm)	1,20	4,34	9,00	1,7	39,2
Outras variáveis					
Peso específico aparente básico (g/cm ³)	0,34	0,39	0,43	0,01	2,6
Teor de umidade (%)	65,0	95,5	146,7	18,0	18,8
Espessura de casca (cm)	0,05	0,20	0,40	0,08	40,0
Porcentagem de casca (%)	16,0	22,6	32,2	3,9	17,3
Idade (anos)	1,0	4,0	10,0	2,1	52,5

Resultados obtidos com o uso de 50 corpos-de-prova, em que: MÍN = valor mínimo; X = média; MÁX = valor máximo; S = desvio padrão; CV% = coeficiente de variação (S/X) x 100.

Analisando-se conjuntamente os dados de *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens* (Tabelas 6, 7, 8 e 9), verificou-se que o coeficiente de variação (CV%) oscilou entre 28 – 43 para o módulo de elasticidade (MOE), entre 22 – 30 para o módulo de ruptura (MOR), entre 29 – 47 para o ângulo de flexibilidade, entre 2 – 8 para o peso específico, entre 9 – 18 para o teor de umidade, entre 30 – 69 para a espessura de casca, entre 17 – 24 para a porcentagem de casca e entre 34 – 52 para a idade dos caules.

Como descrito no item “Materiais e Métodos”, coletou-se, intencionalmente, caules de diferentes dimensões, o que justifica, por si só, os elevados CVs encontrados. É oportuno lembrar, que os mesmos foram submetidos aos testes mecânicos ainda “verdes”, em sua forma cilíndrica e com casca. Apesar do esforço, no sentido de padronizar os corpos-de-prova no momento da coleta, foi inevitável a presença de defeitos, tais como tortuosidades, forma irregular da seção transversal e nós. Embora não tenham sido quantificados no presente estudo, sabe-se que esses defeitos repercutem nas propriedades da madeira (Bodig e Jayne, 1982; Kollmann e Côté, 1968; Burger e Richter, 1991; Gatto, 2006). Tais evidências corroboram com os altos valores do CV% encontrados para algumas variáveis. Para MOE e o MOR, os valores do CV% são praticamente o dobro daqueles referidos pela USDA (1999), para madeiras secas e sem defeitos, de outras espécies.

A Tabela 10, que reúne apenas os resultados médios das variáveis de maior interesse, permite uma comparação geral entre as espécies estudadas. Posteriormente, estas variáveis serão analisadas em função dos diferentes diâmetros dos caules amostrados.

Tabela 10 – Valores médios de algumas variáveis para as quatro espécies em estudo.

Variáveis	<i>Phyllanthus sellowianus</i>	<i>Sebastiania schottiana</i>	<i>Salix humboldtiana</i>	<i>Salix x rubens</i>
Módulo de elasticidade (Kgf/cm ²)	38.261	42.874	30.398	42.620
Módulo de ruptura (Kgf/cm ²)	557	452	320	380
Ângulo de flexibilidade (°)	39,3	32,1	25,5	21,7
Peso específico aparente básico (g/cm ³)	0,51	0,38	0,36	0,39
Teor de umidade (%)	123,0	85,4	102,1	95,5
Espessura de casca (cm)	0,13	0,10	0,29	0,20
Porcentagem de casca (%)	16,8	12,1	25,0	22,6

Os valores do módulo de elasticidade (Tabela 10) mostraram-se bastante baixos, se comparados, por exemplo, com os encontrados por Vollsinger *et al.* (2000), em algumas espécies que na Europa são utilizadas em margens de cursos de água: *Alnus glutinosa* (68.800 kgf/cm²), *Fraxinus excelsior* (102.370 kgf/cm²), *Salix alba* (62.680 kgf/cm²), *Salix caprea* (78.080 kgf/cm²) e *Acer pseudoplatanus* (95.340 kgf/cm²). Por outro lado, os valores do módulo de ruptura, presentemente encontrados, mostraram-se semelhantes aos verificados nas espécies acima citadas. Estes resultados indicam, de modo geral, que os caules de *P. sellowianus*, *S. schottiana*, *S. humboldtiana* e *S. x rubens* são tão resistentes a ruptura quanto os estudados por Vollsinger *et al.* (2000), entretanto, são mais susceptíveis a deformações.

P. sellowianus é a espécie que apresentou maior ângulo de flexibilidade, seguido por *S. schottiana*, *S. humboldtiana* e *S. x rubens* (Tabela 10).

Com relação ao peso específico aparente básico da madeira, foram encontrados valores relativamente baixos para todas as espécies, o que explica, pelo menos em parte, os baixos valores do módulo de elasticidade (Tabela 10). *P. sellowianus* foi a espécie que apresentou maior peso específico ($0,51 \text{ g/cm}^3$), o que se justifica plenamente pelas paredes espessas de suas fibras e pela maior percentagem de fibras gelatinosas, aspectos anatômicos que conferem, segundo Amaral (1970), uma maior densidade ao lenho de tração e, conseqüentemente, à madeira como um todo. Em *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, os valores médios são muito próximos entre si ($0,38$, $0,36$ e $0,39 \text{ g/cm}^3$, respectivamente). O peso específico destas duas últimas espécies concorda com o referido por Tortorelli (1956), Reitz *et al.* (1988), Marchiori (2000) e Garay (2002); para *P. sellowianus* e *S. schottiana*, não foram encontrados valores de referência na literatura.

A utilização de caules “verdes” nos testes de flexão estática implicou, obviamente, em altos teores de umidade. Nas duas espécies de *Salix*, os valores foram muito próximos, estando de acordo com o referido pela FAO (1980); *P. sellowianus* e *S. schottiana*, ao contrário, mostraram valores relativamente distintos entre si (Tabela 10).

A casca, relativamente espessa em *S. humboldtiana* e *S. x rubens*, tem sua espessura reduzida praticamente pela metade em *P. sellowianus* e *S. schottiana*. O percentual de casca, tomado em relação a seção transversal dos caules, mostrou-se maior nas duas primeiras espécies (Tabela 10).

Como se sabe, um dos propósitos deste estudo é determinar a flexibilidade dos caules, ou seja, sua capacidade em curvar-se sobre taludes fluviais. Para evitar confusões, principalmente de ordem terminológica, tornam-se necessários alguns esclarecimentos a respeito do módulo de elasticidade e do ângulo de flexibilidade.

A elasticidade, medida pelo MOE ou módulo de Young, é definida como a capacidade de um material em recuperar sua forma original, depois de removida a carga/força deformante. O conhecimento do MOE de caules e ramos é, todavia, pouco importante, em termos práticos, se aplicado à fins biotécnicos – pois, mesmo que as plantas não consigam retornar a sua posição original (ereta), após serem curvadas durante uma enchente, ou seja, quando já foi ultrapassada a zona elástica do diagrama carga-deformação, elas inda serão aptas a proteção dos taludes fluviais.

O módulo de elasticidade pode ser entendido como uma medida de rigidez dos materiais: quanto maior o módulo de elasticidade de um material (obtido por flexão estática), tanto maior a dificuldade em curvá-lo ou deformá-lo. Cabe comentar, que o MOE nada informa sobre a capacidade de um material em curvar-se em maior ou menor magnitude, além

disso, o mesmo é válido apenas até o limite de proporcionalidade (zona elástica). Dito de outra forma, não se pode prever, com base nos valores dessa variável, o quanto um caule poderá ser curvado ou flexionado, por exemplo, sobre um talude fluvial, que é justamente a informação que permitirá a seleção ou a escolha das plantas mais aptas a proteção dos mesmos.

Constatada a limitação do MOE para este trabalho, desenvolveu-se uma nova variável para classificar as plantas com relação a sua capacidade de se curvar sobre taludes fluviais por ocasião de enchentes: o ângulo de flexibilidade. Esta variável, ao contrário do MOE, mostrou-se extremamente adequada para tal fim, pois é obtida em função da flecha máxima gerada pelos caules nos testes de flexão estática, no momento da ruptura, conforme citado em Materiais e Métodos (p.54).

Em outras palavras, o ângulo de flexibilidade expressa justamente a máxima curvatura (ou dobramento) que o caule de uma planta é capaz de suportar até sua ruptura (o que não significa, necessariamente, a morte das plantas). É nesse contexto, pois, que os termos “flexibilidade” ou “flexível” serão empregados neste trabalho.

Em termos práticos, as plantas que apresentarem caules com ângulo de flexibilidade mais elevado serão as mais adequadas ao uso biotécnico, obviamente, nas situações em que acreditar-se que a proteção dos talude fluviais seja mais eficaz pelo efeito da parte aérea das mesmas (caules, ramos, folhas). Tomando-se apenas os valores médios do ângulo de flexibilidade (Tabela 10; p. 82), pode-se concluir, pelo menos por enquanto, que *P. sellowianus* é a espécie mais flexível, seguida de *S. schottiana*, *S. humboldtiana* e *S. x rubens*.

Esta classificação, por assim dizer, fornece apenas uma noção geral da flexibilidade dos caules de cada uma destas espécies. Portanto, caso ocorram variações expressivas no ângulo de flexibilidade, em função do diâmetro dos caules, como é esperado, será proposta uma nova forma de classificação para as plantas.

4.2.2 Estatística inferencial

Para checar a correlação entre as variáveis de maior interesse, confeccionou-se, para cada espécie em estudo, uma matriz de correlação de Pearson (Tabelas 11, 12, 13 e 14).

Tabela 11 – Matriz de correlação de Pearson entre variáveis do caule de *Phyllanthus sellowianus* Müll.(Arg.).

VARIÁVEIS	<i>DCP</i>	<i>AFL</i>	<i>MOE</i>	<i>MOR</i>	<i>Pe_{básico}</i>	<i>U</i>	<i>E_c</i>	<i>P_c</i>	<i>I</i>
<i>DCP</i>	1	-0,614**	-0,339*	-0,759**	-0,066	0,221	0,898*	0,171	0,871**
<i>AFL</i>		1	0,036	0,621**	0,179	-0,255	-0,520**	0,007	-0,595**
<i>MOE</i>			1	0,523**	-0,305*	0,147	-0,417**	-0,234	-0,290*
<i>MOR</i>				1	-0,113	-0,064	-0,778**	-0,348*	-0,714**
<i>Pe_{básico}</i>					1	-0,943**	0,053	0,215	-0,127
<i>U</i>						1	0,098	-0,149	0,281*
<i>E_c</i>							1	0,569**	0,765**
<i>P_c</i>								1	0,136
<i>I</i>									1

DCP = diâmetro do corpo-de-prova (caule); *ALF* = ângulo de flexibilidade; *MOE* = módulo de elasticidade; *MOR* = módulo de ruptura; *Pe_{básico}* = peso específico aparente básico da madeira; *U* = teor de umidade da madeira; *E_c* = espessura de casca simples; *P_c* = porcentagem de casca; *I* = idade dos caules.

** Correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* Correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 12 – Matriz de correlação de Pearson entre variáveis do caule de *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg.

VARIÁVEIS	DCP	AFL	MOE	MOR	Pe _{básico}	U	E _c	P _c	I
DCP	1	-0,560**	-0,247	-0,695**	0,448**	-0,643**	0,832**	-0,345*	0,910**
AFL		1	-0,167	0,775**	0,064	0,253	-0,418**	0,352*	-0,563**
MOE			1	0,138	-0,074	0,126	-0,267	0,005	-0,143
MOR				1	-0,143	0,303*	-0,591**	0,305*	-0,618**
Pe _{básico}					1	-0,782**	0,446**	-0,005	0,429**
U						1	-0,482**	0,320*	-0,627**
E _c							1	0,203	0,708**
P _c								1	-0,407**
I									1

DCP = diâmetro do corpo-de-prova (caule); AFL = ângulo de flexibilidade; MOE = módulo de elasticidade; MOR = módulo de ruptura; Pe_{básico} = peso específico aparente básico da madeira; U = teor de umidade da madeira; E_c = espessura de casca simples; P_c = porcentagem de casca; I = idade dos caules.

** Correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* Correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 13 – Matriz de correlação de Pearson entre variáveis do caule de *Salix humboldtiana* Willd.

VARIÁVEIS	DCP	AFL	MOE	MOR	Pe _{básico}	U	E _c	P _c	I
DCP	1	-0,684**	-0,592**	-0,862**	0,321*	-0,482**	0,945**	0,580**	0,890**
AFL		1	0,109	0,808**	-0,466**	0,503**	-0,622**	-0,339*	-0,619**
MOE			1	0,515**	0,096	0,139	-0,619**	-0,541**	-0,557**
MOR				1	-0,229	0,365**	-0,805**	-0,481**	-0,804**
Pe _{básico}					1	-0,678**	0,351*	0,289*	0,295*
U						1	-0,587**	-0,623**	-0,602**
E _c							1	0,793**	0,908**
P _c								1	0,700*
I									1

DCP = diâmetro do corpo-de-prova (caule); AFL = ângulo de flexibilidade; MOE = módulo de elasticidade; MOR = módulo de ruptura; Pe_{básico} = peso específico aparente básico da madeira; U = teor de umidade da madeira; E_c = espessura de casca simples; P_c = porcentagem de casca; I = idade dos caules.

** Correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* Correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 14 – Matriz de correlação de Pearson entre variáveis do caule de *Salix x rubens* Schrank.

VARIÁVEIS	DCP	AFL	MOE	MOR	Pe _{básico}	U	E _c	P _c	I
DCP	1	-0,449**	-0,283*	-0,736**	0,541**	-0,335*	0,889**	-0,447**	0,674**
AFL		1	-0,305*	0,328*	-0,061	-0,292*	-0,347*	0,315*	-0,108
MOE			1	0,234	-0,412**	0,403**	-0,301*	0,049	-0,417**
MOR				1	-0,494**	0,358*	-0,693**	0,274	-0,439**
Pe _{básico}					1	-0,678**	0,523**	-0,195	0,637**
U						1	-0,306*	0,165	-0,403**
E _c							1	-0,050	0,758**
P _c								1	-0,050
I									1

DCP = diâmetro do corpo-de-prova (caule); AFL = ângulo de flexibilidade; MOE = módulo de elasticidade; MOR = módulo de ruptura; Pe_{básico} = peso específico aparente básico da madeira; U = teor de umidade da madeira; E_c = espessura de casca simples; P_c = porcentagem de casca; I = idade dos caules.

** Correlação significativa em nível de 1% de probabilidade de erro.

* Correlação significativa em nível de 5% de probabilidade de erro.

Para a confirmação, ou não, da hipótese H_1 (plantas mais jovens apresentam caules mais flexíveis), deve-se, então, conhecer a idade dos caules em função do seu diâmetro, posto que, para o mesmo diâmetro, pode-se ter idades completamente distintas, em função das condições de crescimento da planta.

A correlação entre diâmetro e idade dos caules, como era esperado, mostrou-se significativa e positiva para *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens* (Tabelas 11, 12, 13 e 14).

Na Figura 26, é apresentada a estimativa da idade dos caules em função de seu diâmetro, para cada uma das espécies em estudo.

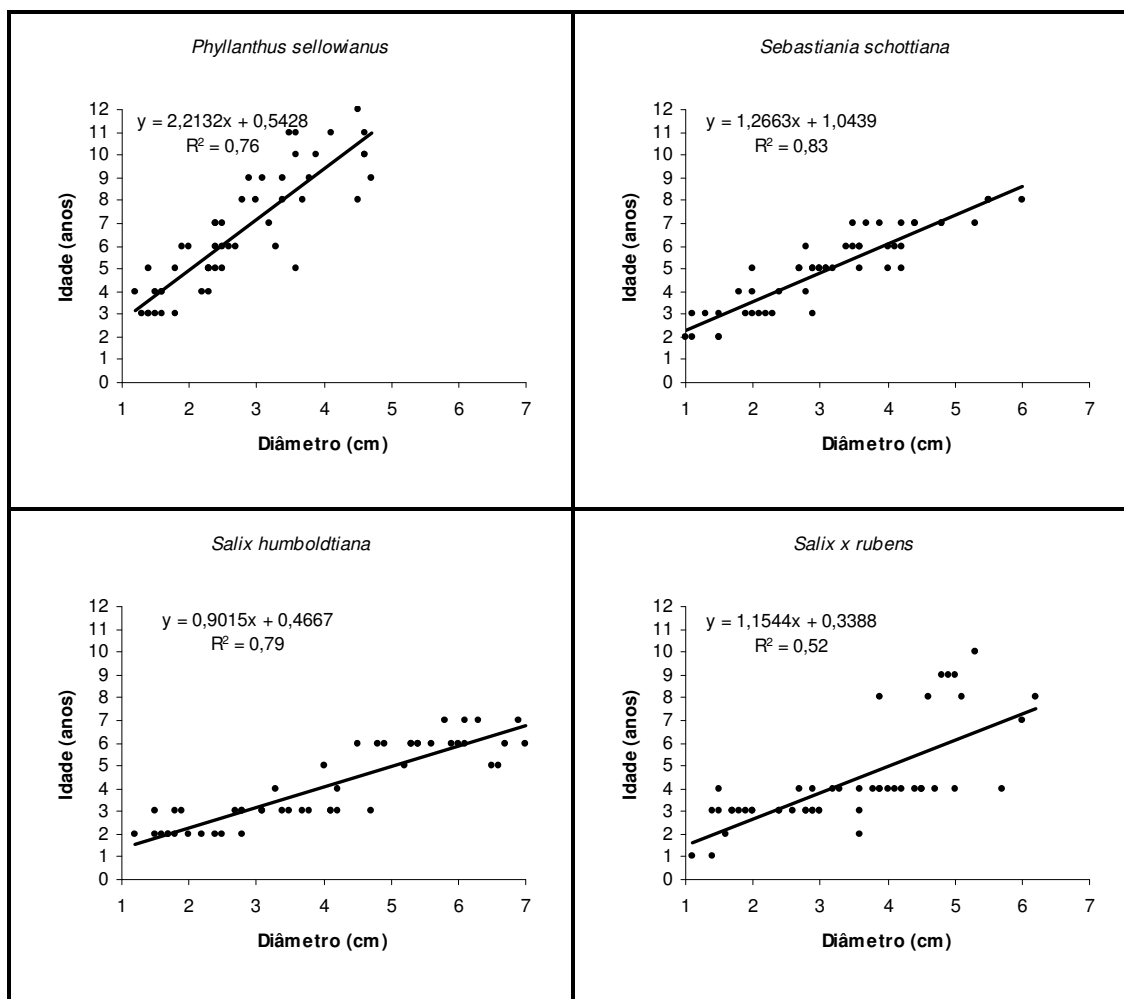


Figura 26 – Estimativa da idade em função do diâmetro dos caules para as quatro espécies em estudo.

Por ter se apresentado como bom indicador da idade dos caules e por ser de fácil obtenção a campo, o diâmetro será utilizado em substituição a esta variável.

Na Figura 27, é apresentada a variação do peso específico aparente básico da madeira em função do diâmetro dos caules, para cada uma das espécies em estudo.

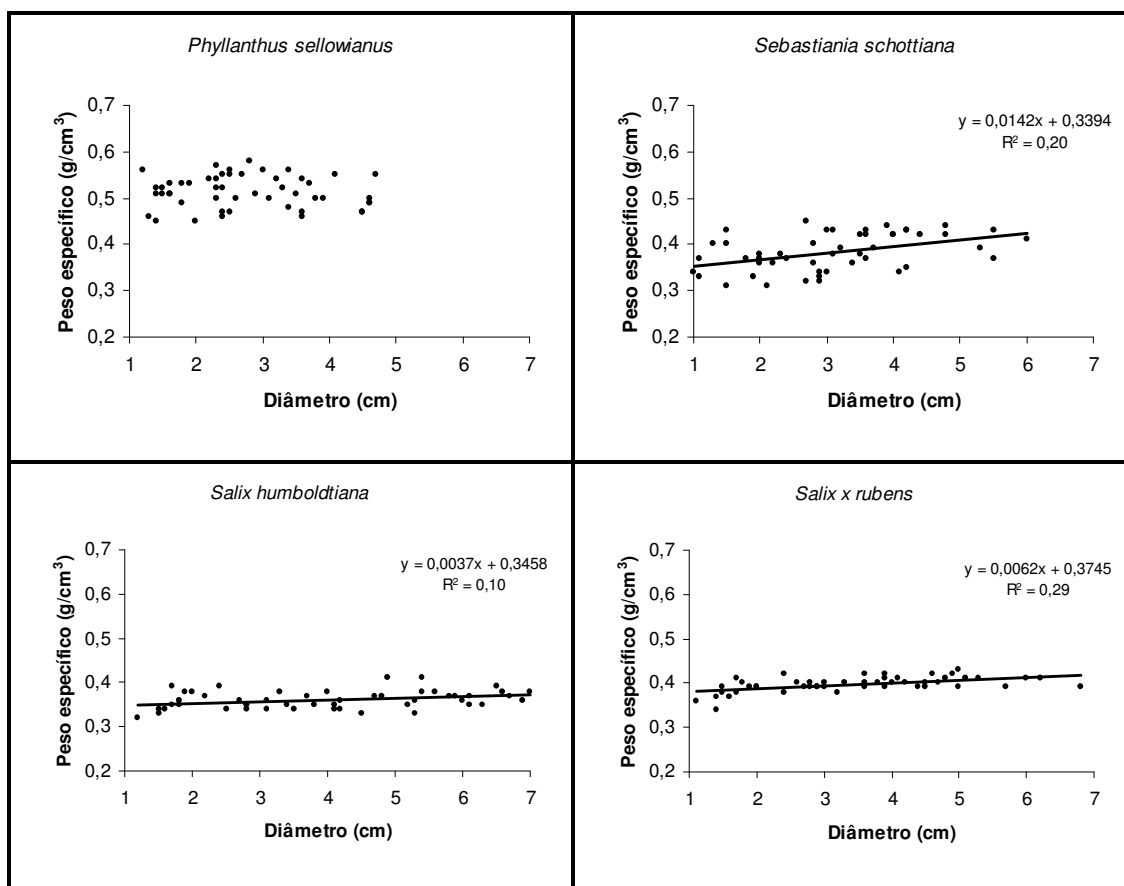


Figura 27 – Peso específico aparente básico da madeira em função do diâmetro dos caules para as quatro espécies em estudo.

Observa-se, para todas as espécies, que o peso específico da madeira pouco se alterou com o diâmetro dos caules (Figura 27). Em *S. schottiana*, *S. humboldtiana* e *S. x rubens*, a correlação mostrou-se positiva (Tabelas 12, 13 e 14 respectivamente), tendência plenamente em acordo com o referido por Panshin e Zeeuw (1970) e Bodig e Jayne (1982). Para *P. sellowianus*, não foi estabelecida correlação significativa entre as referidas variáveis (Tabela 11). Observa-se, apenas, que os valores do peso específico são relativamente altos se comparados aos das outras espécies (Figura 27), o que provavelmente irá refletir-se nas propriedades mecânicas.

Para *P. sellowianus* não houve correlação significativa entre diâmetro e teor de umidade dos caules (Tabela 11), ao passo que para *S. schottiana*, *S. humboldtiana* e *S. x rubens*, a correlação entre estas variáveis mostrou-se significativa e negativa. Todas estas tendências, podem ser melhor analisadas com base na Figura 28.

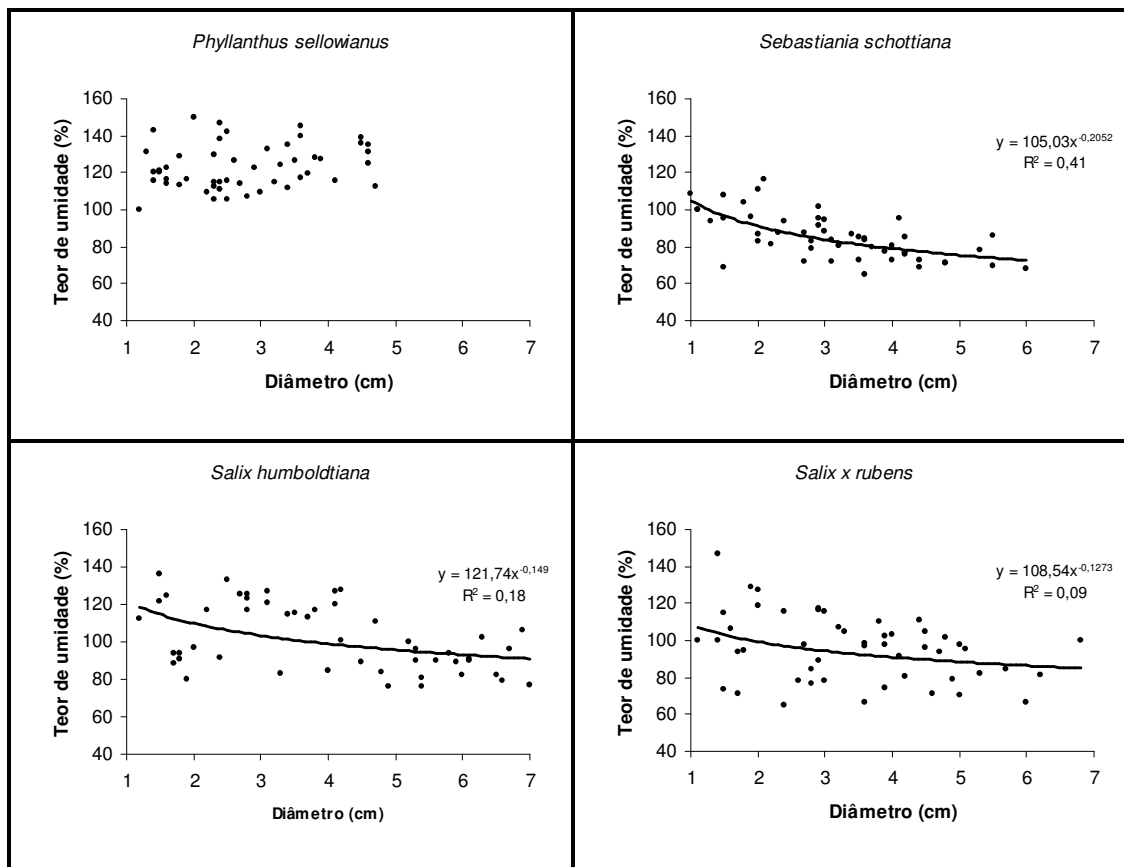


Figura 28 – Teor de umidade da madeira em função do diâmetro dos caules para as quatro espécies em estudo.

Em comparação com as demais espécies, *P. sellowianus* apresenta teor de umidade mais elevado (Figura 28).

Em *S. schottiana*, *S. humboldtiana* e *S. x rubens*, observa-se que o teor de umidade é bastante semelhante, sendo ligeiramente maior nos caules de menor diâmetro (Figura 28). É oportuno salientar, que este comportamento é exatamente o inverso do encontrado para o peso específico (Figura 27), o que é perfeitamente compreensível e experimentalmente comprovado na literatura.

Como já era esperado, a correlação entre diâmetro e espessura de casca dos caules mostrou-se altamente significativa para todas as espécies (Tabelas 11 – 14). A variação da espessura de casca em relação ao diâmetro dos caules é exibida na Figura 29.

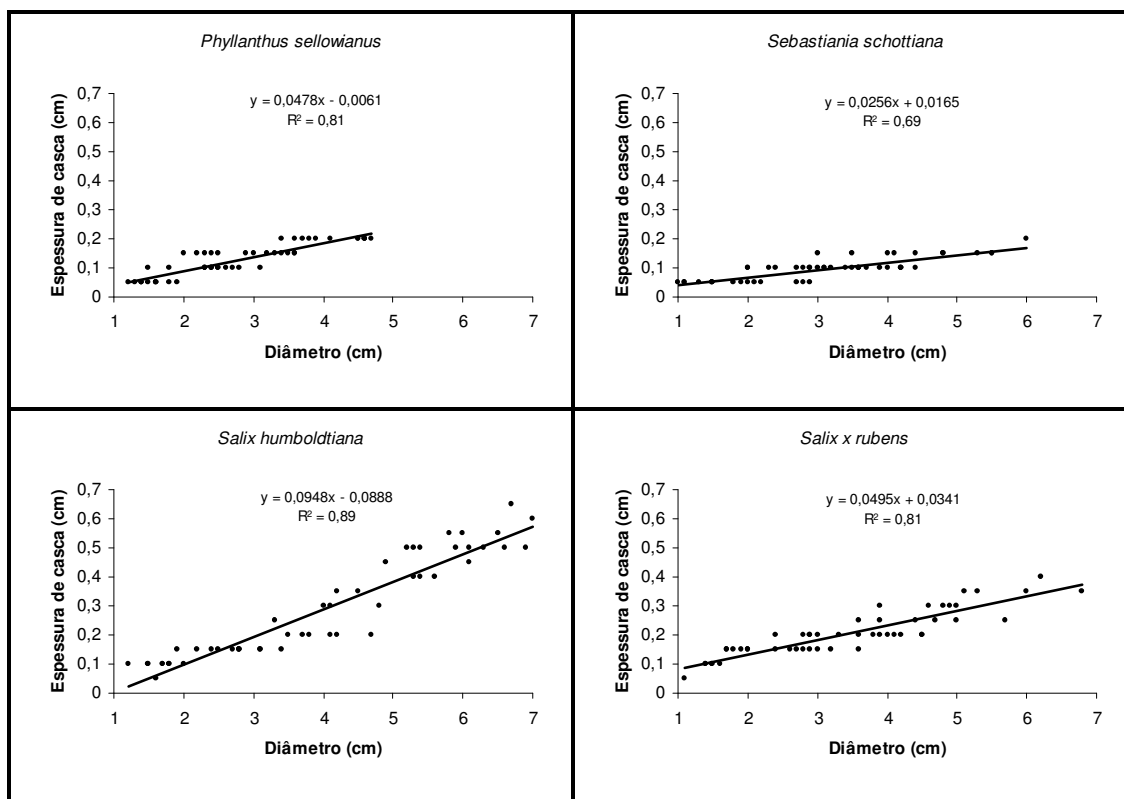


Figura 29 – Espessura de casca em função do diâmetro dos caules para as quatro espécies em estudo.

Na Figura 29, observa-se claramente que quanto maior o diâmetro, tanto maior é a espessura da casca, e isso ocorre de forma linear, pelo menos dentro da amplitude diamétrica testada para cada espécie.

Os resultados foram muito semelhantes em *P. sellowianus* e *S. schottiana*, o mesmo pode ser dito em relação a *S. humboldtiana* e *S. x rubens*. Nestas duas últimas espécies, a espessura de casca aumenta acentuadamente com o diâmetro, ao passo que em *P. sellowianus* e *S. schottiana* observa-se um aumento discreto. Observa-se, ainda, que para caules de até 2 cm de diâmetro, a espessura de casca é praticamente a mesma para todas as espécies.

Não foi constatada correlação significativa entre diâmetro e porcentagem de casca para *P. sellowianus* (Tabela 11). Para as demais espécies, ao contrário, a correlação entre estas variáveis foi significativa. Em *S. humboldtiana* a porcentagem de casca aumenta com o diâmetro dos caules, ao passo que em *S. schottiana* e *S. x rubens*, esta variável é inversamente proporcional ao diâmetro.

Na Figura 30, é apresentada, para cada uma das espécies, a relação entre o módulo de ruptura e o diâmetro dos caules.

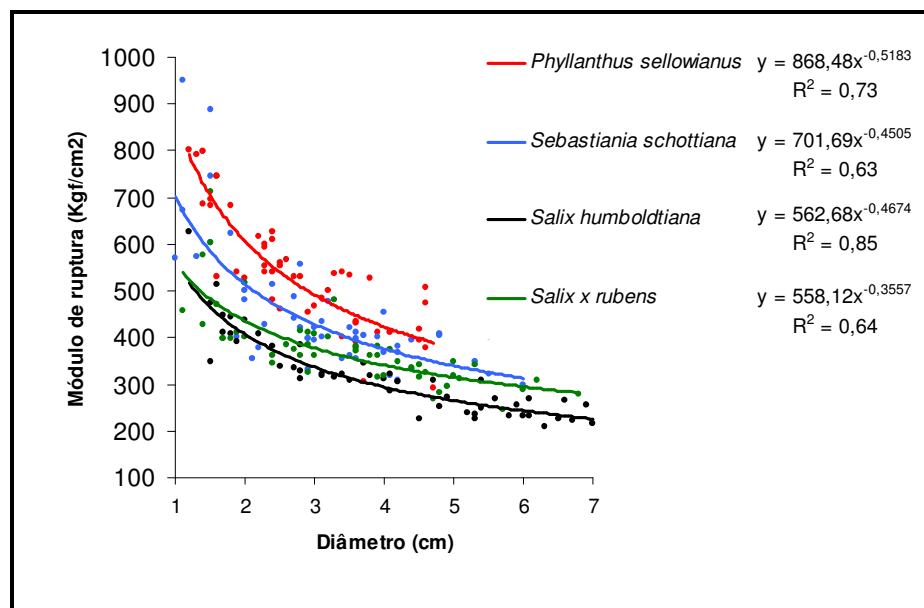


Figura 30 – Módulo de ruptura em função do diâmetro dos caules para cada uma das espécies em estudo.

Pela Figura 30, observa-se que o comportamento do módulo de ruptura é semelhante entre as espécies, ou seja, há uma diminuição da magnitude dessa variável com o aumento do diâmetro dos caules.

É importante comentar, que tais resultados estão de acordo com o referido por Weitzer *et al.* (1998), que trabalharam com outras espécies, porém nas mesmas condições de ensaios (caules roliços, com alto teor de umidade e com casca).

P. sellowianus destaca-se como a espécie mais resistente, seguida por *S. schottiana*, *S. x rubens* e *S. humboldtiana*. Em todas as espécies, observa-se que o módulo de ruptura decresce acentuadamente até os 3 cm de diâmetro, tendendo à estabilização a partir desse valor (Figura 30).

Dada a limitação do uso do módulo de elasticidade para fins biotécnicos, conforme comprovado neste estudo, cabe comentar apenas que esta variável segue a mesma tendência verificada para o módulo de ruptura (Figura 30).

Com relação ao ângulo de flexibilidade dos caules, sabe-se até o momento que há uma correlação negativa e significativa com o diâmetro dos mesmos (Tabelas 11 – 14). Resta constatar, ainda, se o comportamento desta variável é semelhante ou não entre as espécies estudadas – informação de grande importância para a escolha de espécies com vistas à proteção de taludes fluviais.

Na Figura 31, observa-se o comportamento do ângulo de flexibilidade em função do diâmetro dos caules, para cada uma das espécies em estudo.

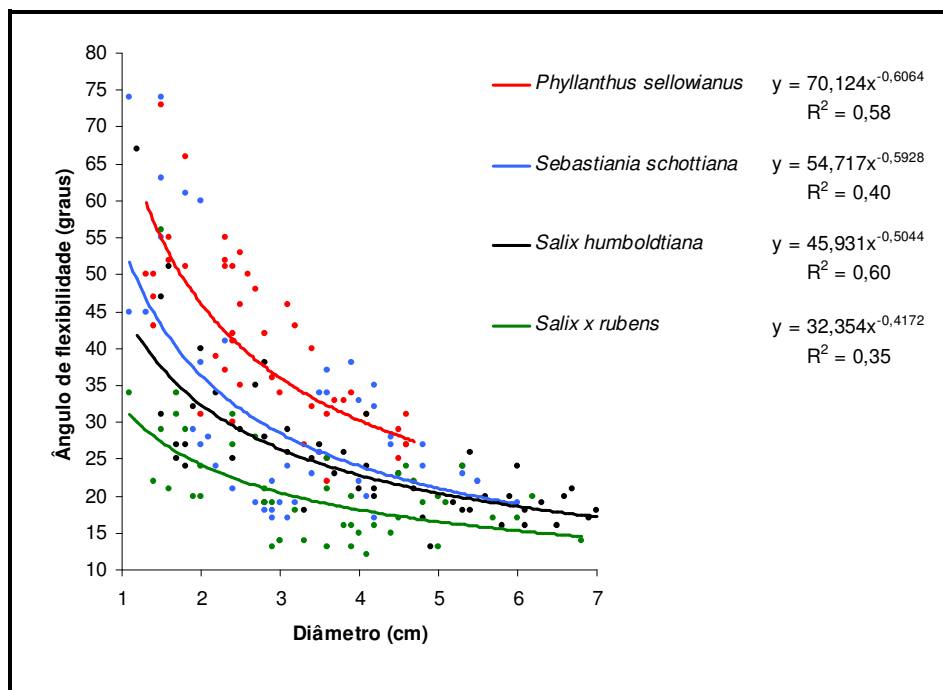


Figura 31 – Ângulo de flexibilidade em função do diâmetro dos caules para cada uma das espécies em estudo.

Independentemente da espécie considerada, nota-se que a flexibilidade diminui à medida que aumenta o diâmetro dos caules (Figura 31). Essa constatação confirma o que se preconizava inicialmente: plantas mais jovens (ou de menor diâmetro) apresentam caules mais flexíveis, portanto, a hipótese H_1 deve ser aceita.

Como verificado anteriormente (Tabela 10; p. 82), *P. sellowianus* apresentou o maior ângulo de flexibilidade médio, sendo, por este motivo, considerada a espécie mais flexível, seguida por *S. schottiana*, *S. humboldtiana* e *S. x rubens*. Tendo-se em vista a magnitude de variação dos valores do ângulo de flexibilidade com o diâmetro dos caules (Figura 31), o uso da média, apenas, não constitui a forma mais adequada para a classificação destas plantas com relação a flexibilidade de seus caules.

Antes de propor-se uma classificação mais criteriosa, que permita julgar e selecionar quais plantas (e em que situação) são mais adequadas para a proteção de taludes fluviais, serão analisados os prováveis motivos responsáveis pelas diferenças encontradas entre as espécies, com relação a flexibilidade e resistência dos caules.

4.2.3 Considerações sobre o comportamento mecânico dos caules

O simples fato de se tratar de espécies distintas – e, como observado, com diferenças na estrutura anatômica de suas madeiras, na espessura da casca, no teor de umidade e no peso específico –, basta, por si só, para justificar a diferença entre as mesmas com relação ao comportamento mecânico dos caules. Todavia, o *modus operandi* da influência destas variáveis na flexibilidade e na resistência dos caules resulta extremamente difícil de ser explicado, devido à interação dessas variáveis. Pode-se, no entanto, com base no que foi analisado, traçar algumas tendências gerais, com vistas à melhor compreensão de tais diferenças.

Com relação a casca, deve-se ter em mente que sua influência, ou não, no comportamento mecânico dos caules, só poderá realmente ser conhecida caso sejam realizados novos testes de flexão estática, utilizando-se corpos-de-prova sem casca. Desse modo, seria possível a comparação de resultados do MOE, MOR e AFL. É importante comentar, no entanto, que além de ocupar menor porcentagem da seção transversal dos caules, a casca é, via de regra, formada por tecidos “frágeis”, que não exercem funções de sustentação mecânica das plantas. Isto posto, supõem-se que sua influência no MOE, no MOR e no AFL, tenha sido desprezível.

Nesse contexto, acredita-se que a explicação para a diferença de flexibilidade e resistência entre os caules de *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, deve ser buscada fundamentalmente na madeira. Parte-se, então, do seguinte questionamento: qual (quais) as características anatômicas do xilema secundário que justificam o fato de *P. sellowianus* e *S. schottiana* terem, em comparação com *S. humboldtiana* e *S. x rubens*, caules mais flexíveis e resistentes?

Primeiramente, é importante salientar a grande semelhança verificada entre as madeiras dessas quatro espécies: vasos pequenos ($< 100\mu\text{m}$), com paredes de $2,5 - 5,0\mu\text{m}$ de espessura e dispostos em múltiplos radiais ou solitários; parênquima axial pouco abundante ou ausente; raios estreitos; presença de fibras gelatinosas; elementos vasculares e fibras com cerca de $400\mu\text{m}$ e $700\mu\text{m}$ de comprimento, respectivamente; o mesmo pode ser dito com relação à composição do tecido lenhoso, cujos valores medianos situam-se entre: 10 – 30% para vasos, 0 – 5% para parênquima axial, 10 – 20% para raios e 60 – 70% para fibras.

Este conjunto de caracteres, comum entre as referidas espécies, pode ser interpretado como uma estratégia do xilema secundário para suportar as condições do ambiente fluvial, a qual será denominada “síndrome anatômica de reofilia”.

É importante ressaltar, de que as fibras, segundo Eames e MacDaniels (1953) e Burger e Richter (1991), são os elementos mais importantes no que diz respeito à resistência da madeira. Com relação a esse caráter, as principais diferenças encontradas entre as espécies ficaram por conta da espessura da parede e do percentual de fibras gelatinosas, posto que, o percentual geral de fibras (incluindo fibras normais e gelatinosas), bem como o comprimento destas, foi muito semelhante.

O lenho de *P. sellowianus*, se comparado ao das outras espécies estudadas, distingue-se principalmente pelo elevado percentual de fibras gelatinosas (cerca de 90%), pelas fibras septadas e de paredes mais espessas, pelos vasos de pequeno diâmetro (30 μ m), bem como pelo maior percentual e largura de raios. São essas, portanto, as características que fazem de *P. sellowianus* a espécie mais flexível e a mais resistente à ruptura (Figuras 30 e 31).

A presença de fibras com paredes espessas no lenho de *P. sellowianus*, justifica seu maior peso específico básico e módulo de ruptura, caracteres inter-relacionados entre si (Haselein *et al.*, 2002). A conspícua presença de lenho de reação, que é marcado, nesta espécie, por fibras gelatinosas de paredes ainda mais espessas que o normal, devido a camada G (Figura 15B,C; p.64), também contribui, segundo Amaral (1970) e Bodig e Jayne (1982), para o maior peso específico da madeira.

O fato de *P. sellowianus* ter maior peso específico e ao mesmo tempo maior flexibilidade, em comparação com as demais espécies estudadas, contraria os resultados obtidos por Garay (2002). Ao comparar caules de *Salix viminalis* com os de outras espécies, Garay (2002) atribuiu a reduzida flexibilidade desta espécie justamente ao maior peso específico de sua madeira.

A maior percentagem de fibras gelatinosas no lenho de *P. sellowianus* (90% aproximadamente), que também a diferencia das outras três espécies, constitui, talvez, o elemento-chave no que diz respeito à sua elevada flexibilidade. A camada G, presente nas fibras gelatinosas, caracteriza-se, segundo Kollmann e Côté (1968), Morey (1968) e Burger e Richter (1991), por elevado conteúdo de celulose, ao passo que a lignina, que é responsável pela rigidez da parede celular e, conseqüentemente, da madeira como um todo, é praticamente ausente. Em outras palavras, pode-se dizer que estas fibras apresentam maior rigidez em sua porção externa, devido a lignificação das camadas S₁ e S₂ (principalmente), ao passo que sua porção interna, teria um comportamento mais plástico (susceptível a deformações), devido a presença da camada G (praticamente sem lignina).

O efeito da presença das fibras gelatinosas sobre a flexibilidade do caule pode ser comparado, por analogia, ao efeito da presença do ferro em colunas de concreto. Como se

sabe, o concreto é um material muito resistente à compressão, mas de baixa resistência a flexão; o ferro, ao contrário, deforma-se com relativa facilidade. O uso de barras de ferro no interior de colunas ou vigas de concreto (utilizadas na construção civil), tem por finalidade, justamente conferir flexibilidade (deformabilidade) e ao mesmo tempo resistência ao material. O mesmo raciocínio, agora transferido para o caule de *P. sellowianus*, explica, pelo menos em parte, sua elevada flexibilidade e resistência, pois observa-se, em seu lenho, abundante material deformável e, ao mesmo tempo, rígido – fibras gelatinosas.

Se para *P. sellowianus* as fibras gelatinosas constituem, ao que tudo indica, o principal fator responsável pela elevada flexibilidade do seu caule, para as demais espécies, todavia, isso não ficou tão evidente. Comparada a *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, *Sebastiania schottiana* (espécie mais flexível e resistente, depois de *P. sellowianus*) tem um percentual menor de fibras gelatinosas (Figura 25B; p. 79).

Embora o peso específico básico de *Sebastiania schottiana*, e sua variação com o aumento de diâmetro dos caules, seja praticamente igual ao de *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens* (Figura 27; p. 90), outras características, no entanto, são ligeiramente distintas.

A percentagem de tecido parenquimático (raios e parênquima axial) é maior em *S. schottiana* do que nas demais espécies, incluindo *P. sellowianus*. Conforme Burger e Richter (1991), entre madeiras de igual peso específico, a com maior proporção de tecido radial tende a ser mais fraca, o que também pode ser interpretado como mais susceptível a deformações. Appezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro (2003) e Putz e Holdbrook (1991 *apud* ARAÚJO, 2005) também consideram a presença de maior proporção de tecidos parenquimáticos como responsável pela flexibilidade de caules.

Se comparada a *S. humboldtiana* e *S. x rubens*, *Sebastiania schottiana* difere, ainda, por apresentar vasos de menor diâmetro, raios mais largos e em maior proporção. Estes aspectos, todavia, estão presentes também no lenho *P. sellowianus* (espécie mais flexível e resistente).

Para todas as espécies, observou-se que os valores do ângulo de flexibilidade e do módulo de ruptura caem acentuadamente em caules de até 3 cm de diâmetro (Figura 31 e 30 respectivamente), tendendo à estabilização a partir desse valor. Com base nos resultados obtidos, não foi possível, todavia, apontar os motivos responsáveis pelo referido fato. Dito de outra forma, as diferenças verificadas no teor de umidade, no peso específico e na própria estrutura anatômica da madeira, entre caules de diferentes diâmetros de cada espécie, não justificam, satisfatoriamente, a acentuada redução de flexibilidade e de resistência dos mesmos. Resultados semelhantes também foram obtidos por Weitzer *et al.* (1998), para o

módulo de ruptura, em diferentes espécies utilizadas para fins biotécnicos. O referido autor, no entanto, não discute as possíveis causas que levaram a este comportamento.

Contudo, o aumento progressivo no diâmetro dos vasos no sentido medula-casca, ou seja, de caules finos até grossos (Figura 20A; p.74), talvez possa explicar o declínio do módulo de ruptura em caules cada vez mais espessos.

Cabe lembrar, inicialmente, que ao serem submetidos aos testes de flexão estática, os caules estavam com alto teor de umidade, ou seja, os vasos xilemáticos estavam saturados com água; em outras palavras, entre as paredes dos vasos há uma espécie de “película de água”. Nos testes de flexão estática, o cabeçote de aplicação de carga esta, em última análise, comprimindo a água que esta no interior dos vasos. Como a água é incompressível, ela tenderá a fluir, pelos vasos, em direção às extremidades do caule, que por sua vez estão abertas (Figura 10D; p. 51); em diversas oportunidades, constatou-se que a água gotejava dos caules. Se este raciocínio estiver correto até o momento, pode-se inferir que quanto menor o diâmetro dos vasos, maior a tensão ou a força necessária para que a água seja evacuada dos caules, pelo menos na “região” de aplicação da carga. Estas suposições podem ser comparadas, por analogia, ao esforço necessário para provocar a saída de água de uma seringa de injeção: quanto menor o diâmetro da agulha (local de saída da água), tanto maior será a força necessária para deslocar o êmbolo.

Observou-se, para todas as espécies, que quanto menor o diâmetro dos caules, menor o diâmetro de vasos e maior o módulo de ruptura. Dito de outra forma, as espécies com maior módulo de ruptura (*P. sellowianus*, seguida de, *S. schottiana*, *S. x rubens* e *S. humboldtiana*), são, também nessa ordem, as que possuem vasos menores (Figura 20A; p. 74) ou (Figura 24; p. 78).

Todas estas considerações devem, no entanto, ser entendidas apenas como hipotético-dedutivas, pois sua comprovação não pode ser realizada de forma empírica. De todo o modo, ainda é cedo para descartar a possibilidade de que os fatores apresentados possam, ao menos, ter contribuído para o “fenômeno” em questão.

4.3 Classificação das plantas quanto a flexibilidade dos caules

De acordo com a linha de raciocínio adotada até o presente momento, sabe-se, apenas, que quanto maior o ângulo de flexibilidade maior é a capacidade das plantas em proteger os taludes fluviais.

Com vistas a uma classificação mais adequada das plantas em função da flexibilidade de seus caules, cabe a formulação do seguinte questionamento: afinal, qual é o ângulo de flexibilidade que os caules devem formar para que as plantas proporcionem, ao menos teoricamente, maior proteção física aos taludes fluviais?

Considerando, hipoteticamente, que os caules das plantas estejam sempre em uma posição perfeitamente vertical (o que a princípio é natural), seria desejável, durante as cheias, que os mesmos atingissem ângulos de flexibilidade iguais ou próximos a 90° . Para melhor compreensão desta afirmativa, confeccionou-se a Figura 32.

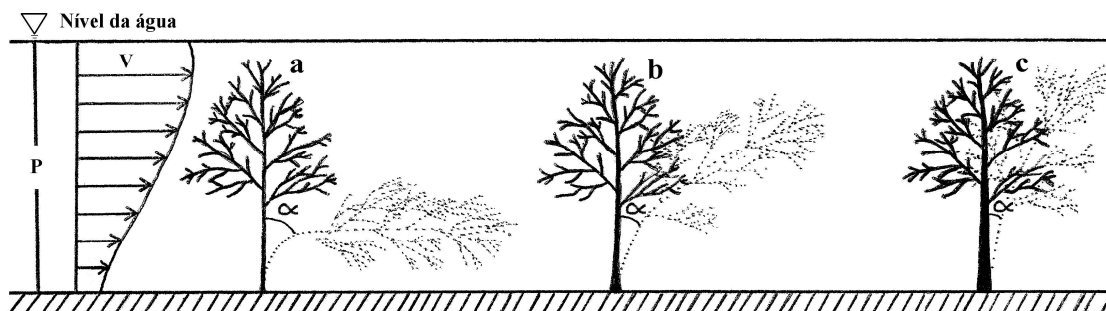


Figura 32 – Comportamento hipotético de uma planta, em função de diferentes diâmetros de caule, quando submetida à força da água durante uma enchente, em que: α = ângulo de flexibilidade; P = profundidade; V = velocidade da água; a,b,c = representam plantas com caules de diâmetro pequeno, médio e grande, respectivamente (Ilustração: Luciano Denardi).

É oportuno comentar, que o comportamento das plantas nas situações “a”, “b” e “c” (Figura 32), é fundamentado pelos resultados obtidos no presente estudo (Figura 31, p.94), ou seja, a medida que os caules vão crescendo em diâmetro menor é o ângulo de flexibilidade.

Na situação “a” (Figura 32), o caule da planta, por ser de pequeno diâmetro, atinge um ângulo de flexibilidade em torno de 90° . Nesse caso, as plantas, se presentes em alta densidade/ m^2 , formariam uma espécie de “colchão vivo”, e, por estarem em posição horizontal, rente ao solo, garantiriam proteção máxima aos taludes, com relação ao poder erosivo da água, durante as cheias. Nas situações “b” e “c”, as plantas, por terem caules de diâmetro relativamente maior, não chegam a curvar-se acentuadamente sobre o talude; embora provoquem uma diminuição da velocidade da água (no caso de estarem presentes em alta densidade/ m^2) e, conseqüentemente, de seu poder erosivo, essas plantas são menos eficientes na proteção dos taludes, em comparação com a situação “a”.

Tendo-se como referência o ângulo de flexibilidade de 90° , tido hipoteticamente como ideal, e considerando-se a grande amplitude de variação dessa variável em caules com

diferentes diâmetros, criou-se um método que permite classificar as plantas com base no diâmetro dos caules, e também em seus respectivos ângulos de flexibilidade (Tabela 15).

Tabela 15 – Classificação das plantas em função da flexibilidade dos caules (Denardi, 2007).

Ângulo de flexibilidade dos caules	Classificação das plantas
60 – 90°	Extremamente flexível
45 – 60°	Muito flexível
30 – 45°	Flexível
15 – 30°	Pouco flexível
< 15°	Não-flexível

Para que uma planta seja classificada de acordo com os parâmetros referidos na Tabela 15, deve-se, previamente, conhecer o diâmetro do caule e seu respectivo ângulo de flexibilidade. Para as espécies em estudo, esses valores são encontrados na Figura 31.

Assim, *Sebastiania schottiana*, por exemplo, será classificada como “muito flexível” (Tabela 15) se os indivíduos possuírem caules de até 1,5 cm de diâmetro (Figura 31, p. 94); acima desse valor (e até aproximadamente 3 cm), os valores do ângulo de flexibilidade correspondentes vão gradativamente diminuindo (de 45 até 30°), portanto, nesse fase de desenvolvimento, essa espécie será considerada apenas como “flexível”.

Cabe observar, que este método de classificação permite julgar a flexibilidade ou a capacidade de curvamento de uma planta de acordo com seu estágio de desenvolvimento, que corresponde ao diâmetro de seus caules, o que representa uma vantagem para a Bioengenharia, tanto como critério de seleção de espécies como para o planejamento intervenções silviculturais.

4.4 Utilização e manejo das plantas

Para a utilização e manejo de plantas com vistas à proteção de taludes fluviais, deve-se, primeiramente, identificar o problema técnico existente e, se necessário, adotar medidas preparatórias, preventivas ou emergenciais (Durló e Sutili, 2005); posteriormente, e com base numa série de características das plantas (aptidão biotécnica), deve-se selecionar as espécies mais adequadas para cumprir com a finalidade proposta e realizar, com o passar do tempo, as intervenções necessárias para que seu efeito protetivo não seja perdido.

Como já referido, a flexibilidade de caules e também outras características das plantas podem ser aproveitadas com vistas à proteção de taludes fluviais. É nesse contexto, mas principalmente em função da flexibilidade dos caules, que serão apresentadas as situações que, acredita-se, sejam as mais adequadas para a utilização, bem como para o manejo de *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*.

Sozinhas ou combinadas com materiais inertes, *P. sellowianus* e *S. schottiana* podem ser utilizadas em praticamente todas as situações em que seja necessário estabilizar e/ou proteger taludes fluviais. No entanto, em taludes recém-remodelados artificialmente (ver Figura 3A,B,C,D; p. 22), tais espécies assumem especial importância, pois é justamente nesse momento que o material revolvido/depositado (camada de solo) fica mais susceptível a ser transportado pela força da água. A utilização de indivíduos em alta densidade/m² recobrirá o talude no início do tratamento, pois, nessa fase, os caules serão de pequeno diâmetro (mais flexíveis) e a proteção máxima será alcançada em virtude do trabalho em conjunto desses caules durante as cheias, pela formação do chamado “colchão vivo” (Figura 5A,B; p. 27).

Com o passar do tempo, no entanto, a referida camada de solo irá se assentando cada vez melhor, ao passo que os caules das plantas, conforme comprovado no presente estudo, irão gradativamente perder flexibilidade.

No caso específico de *Phyllanthus sellowianus* e *Sebastiania schottiana*, a referida perda de flexibilidade dos caules não compromete, obrigatoriamente, a proteção dos taludes, tendo-se em vista o porte arbustivo dessas espécies quando adultas. A poda ou corte de caules e ramos, neste caso, constitui medida facultativa, pois a proteção também será alcançada com base em outras características da planta, tais como: sistema radicular bem desenvolvido, capaz de promover a fixação de solo (talude); presença de densa folhagem (copa) e acúmulo de serrapilheira, que atuam na interceptação e redistribuição da água da chuva (Durlo e Sutili, 2005). Por outro lado, essas espécies são capazes de rebrotar; portanto, caso necessário ou desejável, indivíduos mais velhos podem ser podados ou decepados próximo à base do tronco, o que resultará em maior desenvolvimento do sistema radicular (Durlo e Sutili, 2003) e produção de caules e ramos jovens (mais flexíveis).

Cabe comentar, ainda, que pela notável flexibilidade de seus caules nos primeiros anos, que proporciona excelente proteção física aos taludes fluviais, e também por serem plantas reófilas (adaptadas às condições adversas do ambiente fluvial), *Phyllanthus sellowianus* e *Sebastiania schottiana* são comprovadamente indicadas para o uso junto à linha d'água, ou seja, no leito menor e/ou leito maior (Figura 1; p.17). O pequeno porte dessas

espécies permite, via de regra, que as mesmas se desenvolvam normalmente sobre os taludes fluviais, embora a poda e/ou corte de indivíduos sejam sempre benéficos.

Para *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, no entanto, a proteção conferida ao talude, pelo notável desenvolvimento de seu sistema radicular e copa, bem como pelo acúmulo de serrapilheira, pode, com o passar do tempo, ser “encoberta” pelos efeitos negativos, decorrentes do porte avantajado das mesmas quando adultas, tais como: o efeito alavanca, a adição de peso e a diminuição do perfil transversal de escoamento (Wolle, 1986; Durlo e Sutili, 2003; 2005).

Embora suportem condições extremas do ambiente reófilo, acredita-se que, pelo porte arbóreo adquirido quando adultas, *S. humboldtiana* e *S. x rubens* não devam ser plantadas junto à linha d’água, conforme também sugerido por Hörandl *et al.* (2002) para alguns salseiros utilizados em Bioengenharia na Europa.

Além dos efeitos negativos, anteriormente referidos, o eventual tombamento de plantas de grande porte sobre o leito de rios, pode ocasionar o desvio do fluxo da água para as margens, causando corrosão, ou então, a interrupção momentânea do fluxo de água (em pontos estreitos do leito, ou em vãos de pontes, por exemplo), pelo acúmulo de outros detritos; o rompimento desses obstáculos, poderá causar danos de grandes proporções nos trechos subseqüentes (destruição de bens e propriedades). Tais plantas devem, portanto, ser preferencialmente utilizadas no leito maior excepcional (Figura 1; p. 17).

Contudo, caso *S. humboldtiana* e *S. x rubens* forem empregadas nos taludes fluviais, principalmente próximas à linha d’água (leito menor e/ou maior), deve-se mantê-las num porte arbustivo. Tendo em vista que as referidas espécies apresentam excelente capacidade de rebrota, a poda ou corte de indivíduos adultos resulta, neste caso, como medida adequada e extremamente necessária para a proteção dos taludes, pois, permite eliminar os problemas decorrentes de seu porte avantajado. Deve-se considerar, ainda, que a manutenção de caules jovens (brotações) resulta em maior flexibilidade e, conseqüentemente, maior proteção para os taludes. Embora *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, mesmo quando jovens, sejam menos flexíveis, comparadas a *Phyllanthus sellowianus* e *Sebastiania schottiana*, estas salicáceas seguramente oferecerão boa proteção às margens.

Observa-se, ainda, que além de maior flexibilidade, *P. sellowianus* e *S. schottiana* tem crescimento lento em comparação com *S. humboldtiana* e *S. x rubens*. Isto significa, por exemplo, que com 3 anos de idade *P. sellowianus* e *S. schottiana* apresentarão caules com apenas 1,5 cm de diâmetro (Figura 26; p. 89), ou seja, serão classificadas ainda como “muito flexível” e “flexível”, respectivamente. Portanto, a poda ou a decepa de caules, com vistas à

renovação da vegetação ou “manutenção da flexibilidade das plantas” poderá, nestas espécies, ser realizada periodicamente a cada 2 ou 3 anos. Com 3 anos de idade, *S. humboldtiana* e *S. x rubens* terão caules com aproximadamente 3 cm de diâmetro, ou seja, com baixa capacidade de flexionamento (Figura 31; p. 94). Portanto, para que essas espécies possam proporcionar proteção aos taludes, através de sua parte aérea (caules e ramos flexíveis), a poda deverá ser efetuada praticamente a cada ano.

Em suma, *P. sellowianus* e *S. schottiana*, possuem caules naturalmente mais flexíveis do que as outras duas espécies, o que resulta em maior proteção aos taludes fluviais; além disso, a “manutenção” da flexibilidade destas plantas, por meio de podas ou corte de caules, pode ser feita em períodos de tempo bem maiores, o que é vantajoso em termos práticos.

É oportuno comentar, por fim, que em virtude da recente difusão das técnicas de Bioengenharia no Brasil, o manejo biotécnico de cursos d’água constitui uma meta ainda distante de ser atingida. Contudo, deve-se destacar o pioneirismo da Universidade Federal de Santa Maria, na divulgação desta importante ciência, bem como nos estudos da vegetação, aspecto de fundamental importância, tendo-se em vista que as plantas constituem a principal “ferramenta” da Bioengenharia para o manejo biotécnico de cursos d’água.

5 CONCLUSÕES

Com base no estudo da estrutura anatômica da madeira e da flexibilidade dos caules de *Phyllanthus sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, foi possível formular as seguintes conclusões:

- A descrição anatômica das madeiras de *Phyllanthus sellowianus* (Phyllanthaceae) e *Sebastiania schottiana* (Euphorbiaceae), até então inédita, revelou importantes diferenças qualitativas, que justificam, pelo menos neste caso, o recente desmembramento das Phyllanthaceae, com relação às Euphorbiaceae: *P. sellowianus* distingue-se pelas fibras septadas e pela ausência de parênquima axial;
- A presença de células perfuradas de raio, com duas perfurações simples, verificadas em *Phyllanthus sellowianus* e *Sebastiania schottiana*, constitui novidade para os respectivos gêneros. Nesta última espécie destaca-se, ainda, a ausência de tubos laticíferos, caráter presente em algumas espécies do gênero *Sebastiania*;
- À madeira de *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, cuja descrição anatômica já havia sido realizada por outros autores, cabe agregar a presença de porosidade semi-difusa;
- Embora trate-se de espécies distintas, a análise anatômica da madeira revelou várias semelhanças, as quais foram denominadas de “síndrome anatômica de reofilia”: vasos pequenos ($< 100\mu\text{m}$), solitários ou em múltiplos radiais e com paredes de $2,5 - 5,0\ \mu\text{m}$ de espessura; parênquima axial pouco abundante ou ausente; raios estreitos; elementos vasculares e fibras com cerca de $400\ \mu\text{m}$ e $700\ \mu\text{m}$ de comprimento, respectivamente; e, principalmente, a presença de fibras gelatinosas; o mesmo pode ser dito com relação à composição do tecido lenhoso, cujos percentuais situam-se entre: 10 – 30% para vasos, 0 – 5% para parênquima axial, 10 – 20% para raios e 60 – 70% para fibras;
- A elevada flexibilidade dos caules de *P. sellowianus*, deve-se, sobretudo, a abundante presença de fibras gelatinosas em seu lenho. Para as demais espécies, todavia, tal fato não ficou suficientemente claro;
- Diferenças na composição do tecido lenhoso, bem como no diâmetro de vasos, na altura e largura de raios e no comprimento fibras, todavia, foram encontradas entre

caules com distintos diâmetros, para cada uma das espécies. Algumas destas variáveis, de acordo com a espécie considerada, seguiram, no entanto, diferentes padrões de variação;

- A visualização dos anéis de crescimento através de lupa de bolso ou a olho nu, é desaconselhável para qualquer uma das espécies estudadas, pois leva a sérios erros na interpretação da idade. A metodologia utilizada para tal fim, desenvolvida no presente trabalho, produziu excelente resultado, podendo, inclusive, ser aplicada a outras espécies, sobretudo naquelas com caules de pequeno diâmetro;
- A variável “ângulo de flexibilidade”, criada no presente trabalho, mostrou-se mais adequada, em comparação com módulo de elasticidade, para caracterizar as plantas com relação a flexibilidade dos caules;
- O método desenvolvido para julgar a flexibilidade das plantas, que é baseado nas dimensões do caule e nos seus respectivos ângulos de flexibilidade, indica quais, e em que período do seu desenvolvimento, as plantas estarão mais aptas a proteger os taludes fluviais pela sua capacidade de curvar-se (flexibilidade) sobre os mesmos. Nesse sentido, *P. sellowianus* destaca-se como a espécie mais flexível, seguida de *S. schottiana*, *S. humboldtiana* e *S. x rubens*;
- Independentemente da espécie, ficou comprovado que a flexibilidade dos caules diminui com o aumento do diâmetro, o que implica, com o passar do tempo, em relativa perda de proteção para os taludes fluviais. Nesse sentido, a manutenção de plantas jovens (flexíveis) nas margens de cursos de água, torna-se de fundamental importância. Levando-se em conta, ainda, que espécies de grande porte causam, com frequência, instabilidade nos taludes, tem-se argumentos suficientes para justificar intervenções como a poda ou mesmo a decepta de indivíduos rente a base do tronco;
- Pela flexibilidade e resistência dos caules (presentemente constatada), bem como por outras características relacionadas na literatura, confirma-se a excelente aptidão biotécnica de *P. sellowianus*, *Sebastiania schottiana*, *Salix humboldtiana* e *Salix x rubens*, para a proteção de taludes fluviais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, C.M.A. Secagem de madeiras: alguns ensaios de secagem em estufa. **Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas**, v. 37 e 38, 1970. 174 p.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. **Anatomia vegetal**. Viçosa: UFV, 2003. 438 p.

ARAÚJO, G.U.C. **Aspectos anatômicos do desenvolvimento do caule de *Serjania corrugata* Radlk. (Sapindaceae)**. 2005. 64 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro – Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro 2005.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards**. Philadelphia, 2000. 642 p.

AULITZKY, H.; FIEBIGER, G.U.; DIERA, N. **Grundlagen der Wildbach und Lawinenverbauung – Voläufige Studienblätter**. Wien: Institut für Wildbach und Lawinenverbauung. Universität für Bodenkultur, 1990.

BAAS, P. The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance. **BLUMEA**, v. 21, p. 193-258, 1973.

BAAS, P.; CARLQUIST, S. A comparison of the ecological wood anatomy of the floras of southern California and Israel. **IAWA Bull.**, v. 6, n. 4, p. 349-353, 1985.

BARAJAS-MORALES, J. Wood structural differences between trees of two tropical forests in México. **IAWA Bull.**, v. 6, n. 4, p. 355-364, 1985.

BEGEMANN, W.; SCHIECHTL, H.M. **Ingenieurbiologie: handbuch zum ökologischen Wasser und Erdbau**. 2. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GMBH, 1994.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: 1982. 712 p.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CABRERA, A.L.; *et al.* **Flora de la Provincia de Buenos Aires: Oxalidáceas a Umbelíferas**. Parte IV. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária, 1965.

CALOW, P.; PETTS, G. E. **The river handbook**. Oxford: Black. Scient. Publ., 1994. v.1-2.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. p. 823-827.

CARVALHO, A. **Madeira de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.)**. Alcobaça, 1962. 159 p.

CECCANTINI, G. **Anatomia ecológica do lenho em espécies de cerrado e mata: *Casearia sylvestris* Sw. *Machaerium villosum* Vog.** 1996. 117 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Ed. USP, 1974. 149 p.

_____. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial.** São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 313 p.

COPANT. Comissão Panamericana de Normas Técnicas. **Método de determinação do peso específico aparente.** 30-1-004, 1971.

_____. **Método de determinação de flexão estática.** 30-1-006, 1972.

CUNHA, S.B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J. T. ; CUNHA, S. B (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 211-252.

CUTTER, E.G. **Plant anatomy: experiment and interpretation.** London, 1971. 343 p.

DADSWELL, H.E; WARDROP, A.B. What is reaction wood? **Aust For**, n. 13, p. 22-33, 1949.

DENARDI, L. **Estudo anatômico do lenho e morfologia foliar de *Blepharocalyx salicifolius* (H.B.K.) Berg, em duas regiões do Rio Grande do Sul.** 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DURLO, M.A. **Tecnologia da madeira: peso específico.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 29 p, 1991.(Série Técnica; n.8).

DURLO, M.A. Biotécnicas no manejo de cursos de água. **Ciência & Ambiente**, n. 21, p. 81-90, 2000.

DURLO, M.A.; SUTILI, F.J. Uso da bioengenharia na estabilização de um talude fluvial. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 3., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CCR/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2004. p. 312-323.

DURLO, M.A.; SUTILI, F.J. **Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água.** Porto Alegre: EST, 2005. 189 p.

_____. **Manejo biotécnico de cursos de água.** Santa Maria: UFSM/CCR/DMVP, 2003. 60 p.

EAMES, A.J.; MACDANIELS, L.H. **An introduction to plant anatomy.** 2nd ed. Bombay – New Delhi: 1953. 427 p.

ESAU, E. **Anatomia vegetal.** Barcelona: Omega, 1959. 729 p.

FAO. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. **Los álamos y los sauces em la producción de madera y la utilización de las tierras**. Roma, 1980.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento da densidade básica da madeira de eucalipto. **Boletim IPEF**, v. 6, n. 20, p. 1-14, 1978.

FLORINETH, F.; GERSTGRASER, C. **Ingenieurbiologie**. Wien: Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie: Universität für Bodenkultur, 2000.

FLORINETH, F. **Pflanzen statt beton: handbuch zur ingenieurbiologie und vegetationstechnik**. Berlin-Hannover: Patzer Verlag, 2004. 272 p.

GATTO, D.A. **Características tecnológicas do vergamento das madeira de *Luehea divaricata*, *Carya illionensis* e *Platanus x acerifolia* como subsídios para o manejo florestal**. 2006. 109 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

GARAY, R. Caracterizacion fisico-mecânica de *Salix* spp. **Silvicultura y Producción**, Santiago, p. 222-240, 2002.

GOBBATO, C. Cultura do vimeiro. **Chácaras e quintais**, v. 90, n. 2, p. 42-43, 1954.

GRAY, D.H.; LEISER, A.T. **Biotechnical Slope Protection and Erosion Control**. Florida: Krieger Publishing, 1982.

HASELEIN, C.R.; *et al.* Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.

HÖRANDL, E. **Die Gattung *Salix* in Österreich: mit Berücksichtigung angrenzender gebiete**. Wien: 1992. p. 53-54.

HÖRANDL, E.; FLORINETH, F.; HADACEK, F. **Weiden in Österreich und angrenzender Gebieten**. Wien, 2002.

IAWA. **Multilingual glossary of terms used in wood Anatomy**. Konkordia Winterthur, 1964. 186 p.

IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identificacion. **IAWA Bull.**, v. 10, n. 3, p. 218-359, 1989.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin; Heidelberg; New York: Springer Verlag, 1968. 592 p. v. 1.

LEMOS, R.C.; *et al.* **Levantamento de solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: Ministério da Agricultura – Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária – Divisão de Pesquisa Pedológica, 1973. 423 p.

LEONARDIS, R.F.J. **Arboles de la Argentina y aplicaciones de su madera**. Buenos Aires: Suelo Argentino, 1948. 277 p.

LINDMAN, C.A.M. **A vegetação no Rio Grande do Sul (Brasil Austral)**. Porto Alegre: Livraria Universal de Echenique Irmãos & Cia., 1906. 356 p.

LINDORF, H. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical Forest. **IAWA Journal**, v. 15, n. 4, p. 361-376, 1994.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. p. 330. v. 1.

LUPION, M.R. **Arte e técnica na fabricação de móveis de vime: saberes, práticas e ofício**. 2004. 111 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MARCHIORI, J.N.C. Ontogenia do caule de *Mimosa scabrella* Benth. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 6., 1988, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata: 1988. p. 1167-1177.

_____. **Estudo anatômico do xilema secundário de algumas espécies dos gêneros Acacia e Mimosa, nativas no estado do Rio Grande do Sul**. 1980. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

_____. **Dendrologia das angiospermas: das bixáceas às rosáceas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2000. 240 p.

_____. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos**. Porto Alegre: EST, 2004. 110 p.

MARGALEF, R. **Ecologia**. Barcelona: Omega, 1974. 906 p.

MARTINS, S.V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 146 p.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the Dicotyledons**. Oxford: Clarendon, 1972. 1.500 p. v. 2.

MOREY, P.R. **O crescimento das árvores**. São Paulo: EPU, 1980. 72 p.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

MORGAN, R.P.C.; RICKSON, R.J. **Slope stabilization and erosion control – a bioengineering approach**. London: E & FN Spon, 1995.

MOURA, V.P.G. Introdução de novas espécies de *Salix* (Salicaceae) no Planalto Sul de Santa Catarina, Brasil. **Embrapa**, 2002 (Comunicado técnico; n. 71).

PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1970. 105 p.

- PARKER, H. **Simplified design of structural wood**. New York: J. Wiley, 1979. 269 p.
- PINHEIRO, R.J.B. **Estudo de alguns casos de instabilidade da Encosta da Serra Geral no Estado do Rio Grande do Sul**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- PORTO, M.L. Os campos sulinos: sustentabilidade e manejo. **Ciência & Ambiente**, n. 24, p.119-138, 2002.
- QUADROS, F.L.F; PILLAR, V.P. Transições floresta-campo no Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**, n. 24, p.109-118. 2002.
- RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural**. 3. ed. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2005. 473 p.
- RAMSAY, W.; BRIGGS, D. Juvenile wood: has it come of age. In: A TECHNICAL WORKSHOP: JUVENILE WOOD-WHAT DOES IT MEAN TO FOREST MANAGMENT AND FOREST PRODUCTS, 1985, Waschington. **Proceedings...** Madison: Forest Products Research Society, 1986. p. 5-11.
- RECH, T.D.; *et al.* Requerimento em frio, dinâmica e heterogeneidade de dormência de gemas em ramos de *Salix x rubens* cultivado em Lages, SC. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, p. 427-435, 2006.
- RECORD, S.J.; HESS, R. W. **Timbers of the new word**. New Haven: Yale University Press, 1942. 640 p.
- REITZ, R; KLEIN, R.M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Sudesul, 1988. 525 p.
- RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo: Fapesp, 2000. 320 p.
- ROZSKA, J. **On the nature of rivers**. New York: Dr. Junk, 1978. 67 p.
- SALZMANN, C. **Verwendung von unterschiedlic langen setzungen der fahzweide (*Salix x rubens*) in Lagenbau**. Wien: Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, 1988.
- SARTORI, M. da G.B. **O clima de Santa Maria, RS: do regional ao urbano**. 1979. 167 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 1979.
- SCHÄFER, A. **Fundamentos de ecologia e biogeografia de águas continentais**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1985. 532 p.
- SCHIECHTL, H.M.; STERN, R. **Handbuch für naturnaherm Wasserbau**. Eine Einleitung für ingenieurbiologische Bauweisen. Österreichischer Agraverlag, druck – und Verlagsgesellschaft m.b.h., 1994.
- SCHWARZBOLD, A. O que é um rio? **Ciência & Ambiente**, n. 21 p. 57-68. 2000.

- SILVA, G. Vime cultivado e arte. **Revista Globo Rural**, v. 15, n. 169, p. 48-52. 1999.
- SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. Orlando; 1981. 223 p.
- SMITH, L.B.; DOWNS, R.J.; KLEIN, R.M. Euphorbiáceas. In: REITZ, P. R. **Flora ilustrada catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1988. 408 p.
- SOBRAL, M.; *et al.* **Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil**. São Carlos: Novo Ambiente, 2006. 350 p.
- SOUZA, V.C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas dicotiledôneas da flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005. 640 p.
- SUTILI, F.J. **Manejo biotécnico do arroio Guarda-mor: princípios, processos e práticas**. 2004. 114 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- SUTILI, F.J.; DURLO, M.A.; BRESSAN, D.A. Potencial biotécnico do sarandi-branco (*Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg.) e vime (*Salix viminalis* L.) para revegetação de margens de cursos de água. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 13-20, 2004.
- TAGLIARI, P.S. A cultura do vime em Santa Catarina: altos e baixos de uma alternativa econômica e social. **Agropecuária Catarinense**, v. 11, n. 2, p. 23-29, 1998.
- TOMASELLO FILHO, M. Variação da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **Boletim IPEF**, n. 29, p. 37-45, 1985.
- TORTORELLI, L.A. **Maderas y bosques argentinos**. Buenos Aires: ACME, 1956. 910 p.
- USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Forest Service. Agriculture handbook: US government printing office, 1999.
- VARGAS, C.O. **Características biotécnicas de *Phyllanthus sellowianus* Müll. Arg., *Salix x rubens* Scharank e *Sebastiania schottiana* (Müll. Arg.) Müll. Arg.** 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- VOLLSINGER, S.; DOPPLER, F.; FLORINETH, F. **Ermittlung des stabilitätsverhaltens von Ufergehölzen in Zusammenhang mit Erosionsprozessen an Wildbächen**. Wien: Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2000. 107 p.
- WAGNER, M.A. **Morfo-anatomia do caule do vime brasileiro (*Salix x rubens* Schrank)**. 2005. 22 f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

WANGAARD, F.F. **The mechanical properties of wood**. London: Chapman & Hall, 1950. 377 p.

WEITZER, C.H.; DOPPLER, F.; FLORINETH, F. **Untersuchungen über die Wirksamkeit von Pflanzen in Einzugsgebieten des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinverbauung**. Arbeitsbereich Ingenieurbiologie u. Landschaftsbau, Univ. f. Bodenkultur Wien, Hrsg. Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Gruppe V/C, Wien, 1998. 81 p.

WIEDENBRUG, W. Maderas chilenas: contribuição a su anatomia e identificacion. **LILLOA**, n. 16, 1948.

WOLLE, C.M. Poluição e escorregamentos: causas e efeitos na Serra do Mar. In: COMBRAMSEF, 8., 1980, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABMS, 1986. p. 178-190. v. 7.