Reference Celso Hel Reference Folkler Somernoon da cao uma miso hus futo.

LUIZ CARLOS COUTO

INFLUÊNCIA DA MORFOIOGIA DOS CAVACOS DE MADEIRA DE <u>Eucalyptus urophylla</u> DE ORIGEM HÍBRIDA NA QUALIDADE DA CELULOSE KRAFT.

Celso Foeli .

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como par te das exigências do Curso de Mestrado em Ciência Florestal, para a obtenção do grau de "Magister Scientiae".

Celso Foelkel

## INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA DOS CAVACOS DE MADEIRA DE <u>Eucalyptus urophylla</u> DE ORIGEM HÍBRIDA NA QUALIDADE DA CELULOSE KRAFT

por

#### LUIZ CARLOS COUTO

APROVADA:

Prof. Celso Edmando Bochetti Foelkel (Orientador)

Prof. Adair José Regazzi

(Conselheiro)

Prof. Ricardo Marius Della Lucia (Conselheiro)

Frof. José Livio Gomide

Prof. Renato Mauro Brandi

À minha esposa Cristina
À minha filha Lílian
Aos meus pais e irmãos

Dedico

#### AGRADECIMENTOS

Ao Professor Celso Edmundo Bochetti Foelkel pelo incentivo e orientação dados durante o curso e na realização do presente trabalho.

Ao Professor Conselheiro Ricardo Marius Della Iucia, pelas sugestões e esclarecimentos durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Conselheiro Adair José Regazzi, do Depar tamento de Matemática, pelo auxílio e orientação capaz na programação dos dados e na parte de análise estatística.

Ao Professor José Lívio Gomide, pelos ensinamentos e dedicação.

À Celulose Nipo-Brasileira S/A (CENIBRA), pelo convênio firmado com a Universidade Federal de Viçosa, possibilitando a realização deste Curso de Mestrado em Ciência Flores
tal - Opção Tecnologia de Celulose e Papel, e pela bolsa de
estudos concedida.

Aos técnicos e funcionários da CENIBRA, pela valiosa colaboração, quando de nossas visitas às suas dependências.

À Universidade Federal de Viçosa — U.F.V., através do Departamento de Engenharia Florestal, que nos possibilitou o treinamento e posterior desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Celulose e Papel da U.F.V. pela colaboração recebida no decorrer do trabalho.

Aos demais Professores da Escola Superior de Florestas da U.F.V. e aos colegas de curso, pela agradável convivência e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuiram para a realização deste trabalho.

#### BIOGRAFIA DO AUTOR

LUIZ CARLOS COUTO, filho de Argemiro Couto e Maria Soares Queiroz Couto, nasceu em Tocantins, Estado de Minas Gerais, em 30 de junho de 1951.

Concluiu os cursos primário e ginasial em Tocantins, nos colégios "Dr. Ozanan Coelho" e ginásio "São José de Tocantins", respectivamente.

Concluiu o curso científico no Colégio "Jesuítas", em Juiz de Fora, MG.

Em 1973, ingressou na Escola Superior de Florestas da Universidade Federal de Viçosa, graduando-se engenheiro florestal, no dia 15 de dezembro de 1976.

Em 1977, ainda nesta Universidade, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, concluindo os requisitos para obtenção do grau "Magister Scientiae" em julho de 1979.

## CONTEÚDO

|  | Página   |
|--|----------|
| LISTA DE QUADROS                                   | viii     |
| EXTRATO  | xvi      |
| 1. INTRODUÇÃO                                      | 1        |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA                           | 4        |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS                              | 16       |
| 3.1. Determinação da densidade a granel dos cava-  |          |
| cos  | 17       |
| 3.2. Dimensões das fibras da madeira               | 17       |
| 3.3. Produção de celulose                          | 18       |
| 3.3.1. Condições de cozimento                      | 18       |
| 3.3.2. Cozimentos                                  | 19       |
| 3.3.3. Lavagem e depuração das celuloses           | 19       |
| 3.4. Determinação dos rendimentos em celulose e    |          |
| teores de rejeitos                                 | 20       |
| 3.5. Determinação do número kappa das celuloses    | 20       |
| 3.6. Determinação da viscosidade das celuloses     | 20       |
| 3.7. Preparo das amostras para ensaios físico-mecâ | <u>L</u> |
| nicos  |          |
| 3.7.1. Refino                                      | 0.7      |

|  | Página |
|--|--------|
|  |        |
| 3.7.2. Formação de folhas para ensaios             | 21     |
| 3.7.3. Acondicionamento das folhas                 | 21     |
| 3.8. Ensaios físico-mecânicos                      | 22     |
| 3.8.1. Resistência à tração                        | 22     |
| 3.8.2. Resistência ao estouro                      | . 22   |
| 3.8.3. Resistência ao rasgo                        | . 22   |
| 3.8.4. Esticamento                                 | . 22   |
| 3.8.5. Densidade aparente                          | , 22   |
| 3.8.6. Volume específico aparente                  | 23     |
| 3.8.7. Tempo de refino                             | 23     |
| 3.9. Análises estatísticas                         | 23     |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO                          | 24     |
| 4.1. Densidade a granel dos cavacos                | . 24   |
| 4.2. Dimensões das fibras                          | • 25   |
| 4.3. Resultados para a deslignificação da madeira  | 26     |
| 4.3.1. Rendimento bruto em celulose                | • 26   |
| 4.3.2. Rendimento depurado em celulose             | • 33   |
| 4.3.3. Número kappa das celuloses                  | • 39   |
| 4.3.4. Viscosidade das celuloses                   | • 45   |
| 4.4. Resultados dos ensaios físico-mecânicos da    | ន      |
| celuloses  | • 51   |
| 4.4.1. Resistência à tração                        | • 51   |
| 4.4.2. Resistência ao estouro                      | • 57   |
| 4.4.3. Resistência ao rasgo                        |        |
| 4.4.3.1. Resistência ao rasgo a 25 <sup>0</sup> SR |        |
| 4.4.3.2. Resistência ao rasgo a 40 <sup>0</sup> SR |        |
| 4.4.3.3. Resistência ao rasgo a 55 <sup>0</sup> SR | • 67   |
| 4.4.3.4. Comparação global para a resistênci       | .a     |
| ao rasgo   | . 68   |
| 4.4.4. Esticamento                                 | . 79   |

|    |                                   | Página |
|----|-----------------------------------|--------|
|    | 4.4.5. Densidade aparente         | 87     |
|    | 4.4.6. Volume específico aparente | 96     |
|    | 4.4.7. Tempo de refino            | 103    |
| 5. | RESUMO E CONCLUSÕES               | 112    |
| 6. | LITERATURA CITADA                 | 116    |

## LISTA DE QUADROS

| QUA | ADRO |   | Página |
|-----|------|---|--------|
|     | 1    | Densidade a granel dos cavacos $(kg/m^3)$   | 24     |
|     | 2    | Dimensões das fibras para as diversas formas de cavacos   | 25     |
|     | 3    | Rendimento bruto das celuloses (%)  | 29     |
|     | 4    | Análise da variância para rendimento bruto  | 30     |
|     | 5    | Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F) sobre o rendimento bruto de acordo com o desdobramento da interação tripla CxAxF             |        |
|     | 6    | Efeito de forma de cavacos (C), dentro das com<br>binações entre os níveis de álcali ativo (A) e<br>fator H (F), sobre o rendimento bruto das celu<br>loses |        |
|     | 7    | Rendimento depurado das celuloses (%)   | 35     |
|     | 8    | Análise da variância para rendimento depurado   | 36     |
|     | 9    | Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F) sobre o rendimento depurado, de acordo com o desdobramento da interação tripla Cx Ax F       | 37     |

| QUADRO |   | Página |
|--------|---|--------|
| 10     | Efeito de forma de cavacos (C), dentro das com<br>binações entre os níveis de álcali ativo (A) e<br>fator H (F), sobre o rendimento depurado das<br>celuloses   | 38     |
| 11     | Número kappa das celuloses  | 41     |
| 12     | Análise da variância para número kappa  | 42     |
| 13     | Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F) sobre o número kappa, de acordo com o desdobramento da interação tripla Cx Ax F                  | 43     |
| 14     | Efeito de forma de cavacos (C), dentro das com<br>binações entre os níveis de álcali ativo (A) e<br>fator H (F), sobre o número kappa das celulo-<br>ses        | 44     |
| 15     | Viscosidade das celuloses (%)   | 47     |
| 16     | Análise da variância para viscosidade   | 48     |
| 17     | Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F) sobre a viscosidade, de acor do com o desdobramento da interação tripla Cx Ax F                  | 49     |
| 18     | Efeito de forma de cavacos (C), dentro das combinações entre os níveis de álcali ativo (A) e fator H (F), sobre a viscosidade das celuloses                     | 50     |
| 19     | Valores da resistência à tração das celuloses a 25, 40 e 55°SR  | 53     |
| 20     | Análise da variância da resistência à tração das celuloses  | 54     |
| 21     | Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo (A) sobre a resistência à tração, para 25 graus Schopper Riegler de acordo com o desdobramento da interação C x A | 55     |

| QUADRO |  | Página       |
|--------|--|--------------|
| 22     | Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo (A) sobre a resistência à tração, para 25 graus Schopper Riegler   | 55           |
| 23     | Efeito de forma de cavacos (C), sobre a resis-<br>tência à tração para 40 graus Schopper Riegler   | 56           |
| 24     | Efeito de forma de cavacos (C), sobre a resis-<br>tência à tração para 55 graus Schopper Riegler   | 56           |
| 25     | Valores da resistência ao estouro das celulo-<br>ses a 25, 40 c 55°SR  | 59           |
| 26     | Análise da variância da resistência ao estouro das celuloses   | 60           |
| 27     | Efeito de forma de cavacos (C), sobre a resis-<br>tência ao estouro, para 25 graus Schopper Rie-<br>gler   | $\epsilon_1$ |
| 28     | Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo sobre a resistência ao estouro, para 40 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação CxA           | 61           |
| 29     | Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A), sobre a resistência ao estouro, para 40 graus Schopper Riegler   | 62           |
| 30     | Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A), sobre a resistência ao estouro, para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o des dobramento da interação Cx A | 62           |
| 31     | Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A), sobre a resistência ao estouro, para 55 graus Schopper Riegler   | 63           |
| 32     | Valores da resistência ao rasgo das celuloses a 25, 40 e 55°SR   | 70           |
| 33     | Análise da variância da resistência ao rasgo das celuloses   | 71           |

78

|        |  | Α.         |
|--------|--|------------|
| QUADRO |  | Página     |
| 34     | Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e de fator H (F), sobre a resistência ao rasgo, para 25 graus Schopper Riegler, de acor do com o desdobramento da interação CxAxF   | 72         |
| 35     | Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F), sobre a resistência ao rasgo, para 25 graus Schopper Ricgler   | 73         |
| 36     | Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e de fator H (F), sobre a resistência ao rasgo, para 40 graus Schopper Riegler, de acor do com o desdobramento da interação Cx Ax F | 74         |
| 37     | Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e de fator H (F), sobre a resistência ao rasgo, para 40 graus Schopper Riegler  | <b>7</b> 5 |
| 38     | Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A) sobre a resistência ao rasgo, para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx A                   | 75         |
| 39     | Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A), sobre a resistência ao rasgo, para 55 graus Schopper Ricgler   | 76         |
| 40     | Efcito de forma de cavacos (C) e de fator H(F), sobre a resistência ao rasgo, para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação CxF                         | <b>7</b> 6 |
| 41     | Efeito de forma de cavacos (C),e de fator H(F) sobre a resistência ao rasgo, para 55 graus Schopper Riegler  | 77         |
| 42     | Efeito de álcali ativo(A) e de fator H (F) so-<br>bre a resistência ao rasgo, para 55 graus<br>Schopper Riegler, de acordo com o desdobramen-<br>to da interação Ax F                | 77         |

Efcito de álcali ativo (A) e de fator H (F), so

bre a resistência ao rasgo, para 55 graus Schopper Riegler .....

43

| QUADRO |  | Página         |
|--------|--|----------------|
| 44     | Valores do esticamento das celuloses a 25, 40 e 55°SR  | 81             |
| 45     | Análise da variância do esticamento das celuloses  | 82             |
| 46     | Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo (A) sobre o esticamento, para 25 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da                  | 0.5            |
| 47     | interação Cx A  Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ati vo (A) sobre o esticamento, a 25 graus Schop- per Riegler                                 | 83<br>83       |
| 48     | Efeito de forma de cavacos (C) e fator H (F) sobre o esticamento, para 25 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da inte                  |                |
| 49     | Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H(F) sobre o esticamento para 25 graus Schopper  | 84             |
| 50     | Riegler  Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ati vo (A) sobre o esticamento, para 40 graus Schopper Riegler de acordo com o desdobramento         | 84             |
| 51     | da interação CxA   | 85             |
| )±     | vo (A) sobre o esticamento, para 40 graus Schop<br>per Riegler   | <u>2</u><br>85 |
| 52     | Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A) sobre o esticamento, para 55 graus Schopper Riegler de acordo com o desdobramento da interação Cx A | 86             |
| 53     | Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A) sobre o esticamento, para 55 graus Schopper Riegler   | 86             |
| 54     | Valores de densidade aparente das celuloses a 25, 40 e 55°SR   | 90             |

| QUADRO |   | Página |
|--------|---|--------|
| 55     | Análise da variância da densidade aparente das celuloses  | 91     |
| 56     | Efeito da forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F) sobre a densidade aparente, para 25 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx Ax F                   | 92     |
| 57     | Efeito de forma de cavacos (C), dentro das combinações entre os níveis de álcali ativo (A) e fator H (F), sobre a densidade aparente, para 25 graus Schopper Riegler                            | 93     |
| 58     | Efeito de forma de cavacos (C) sobre a densi-<br>dade aparente para 40 graus Schopper Riegler .   | 93     |
| 59     | Efeito do álcali ativo (A) e de fator H (F) sobre a densidade aparento, para 40 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação AxF  | 94     |
| 60     | Efeito de álcali ativo (A) e do fator H (F) so<br>bre a densidade aparente, para 40 graus Schop-<br>per Riegler   | 94     |
| 61     | Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F) sobre a densidade aparente, para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramen- to da interação Cx F                                   | 95     |
| 62     | Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F) sobre a densidade aparente, para 55 graus Schopper Riegler  | 95     |
| 63     | Valores do volume específico aparente das celuloses a 25, 40 e 55°SR  | 98     |
| 64     | Análise da variância do volume específico aparente das celuloses  | • 99   |
| 65     | Efeito de forma de cavacos (C), de álcali ati-<br>vo (A) e de fator H (F) sobre o volume especí-<br>fico aparente para 25 graus Schopper Riegler,<br>de acordo com o desdobramento da interação |        |
|        | $C \times A \times F$   | 100    |

108

|        |  | SET A  |
|--------|--|--------|
| QUADRO |  | Página |
| 66     | Efeito de forma de cavacos (C), dentro das com<br>binações entre os níveis de álcali ativo (A) e<br>fator H (F), sobre o volume específico aparen-<br>te, para 25 graus Schopper Riegler | 101    |
| 67     | Efeito de álcali ativo (A) e de fator H (F) so bre o volume específico aparente, para 40 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Ax F                         | 101    |
| 68     | Efeito do álcali ativo (A) e do fator H (F) so<br>bre o volume específico aparente, para 40<br>graus Schopper Riegler  | 102    |
| 69     | Efeito de forma de cavacos (C) sobre o volume específico aparente, para 40 graus Schopper Riegler  | 102    |
| 70     | Valores dos tempos de refino necessários para se atingir 25, 40 e 55°SR  | 105    |
| 71     | Análise da variância para tempo de refino das celuloses  | 106    |
| 72     | Efeito de forma de cavaco (C) e álcali ativo (A) sobre o tempo de refino necessário para 25 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx A                      | 107    |
| 73     | Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A) sobre o tempo de refino necessário para 25 graus Schopper Riegler   | 107    |
| 74     | Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo (A) sobre o tempo de refino necessário para 40 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx A                     | 108    |

Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A), sobre o tempo de refino necessário pa-

ra 40 graus Schopper Riegler ......

75

| Δ. | АТТ | TX   | $\sim$       |
|----|-----|------|--------------|
| w  | UA  | JJ.T | $\iota \cup$ |

| Dá  | œi  | n  | 9 |
|-----|-----|----|---|
| Ptt | gr. | 11 | d |

| 76 | Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F), sobre o tempo de refino necessário para 40 graus Schopper Riegler, de acordo com o des dobramento da interação Cx F | 109 |
|----|--|-----|
| 77 | Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F), sobre o tempo de refino necessário para 40 graus Schopper Riegler   | 109 |
| 78 | Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F), sobre o tempo de refino necessário para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o des dobramento da interação CxF  | 110 |
| 79 | Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F), sobre o tempo de refino necessário para 55 graus Schopper Riegler   | 110 |
| 80 | Efeito de álcali ativo (A) e de fator H (F), sobre o tempo de refino necessário para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Ax F      | 111 |
| 81 | Efeito de álcali ativo (A) e de fator H (F) so<br>bre o tempo de refino necessário para 55 graus<br>Schopper Riegler   | 111 |

#### EXTRATO

COUTO, Iuiz Carlos, M.S., Universidade Federal de Viçosa, ju lho de 1979. Influência da morfologia dos cavacos de madeira de Eucalyptus urophylla de origem híbrida na qualidade da celulose kraft. Professor Crientador: Celso Edmun do Bochetti Foelkel. Professores Conselheiros: Ricardo Marius Della Iucia e Adair José Regazzi.

Este trabalho teve como objetivo proceder a uma comparação entre as qualidades das celuloses kraft obtidas a partir de formas distintas de cavacos da madeira de Eucalyptus urophylla, de origem híbrida com 7 anos de idade. Utilizaram-se cinco formas de cavacos, inclusive a forma industrial convencional, bem como a de resíduos lenhosos representados por mini-cavacos, serragem em frações fina e grossa e fitas, essas obtidas no sentido longitudinal da tora de madeira.

Paralelamente à morfologia dos cavacos, procurou-se verificar a influência das condições do cozimento kraft, como álcali ativo e fator H, em níveis de 13 e 15% de Na<sub>2</sub>O sobre a madeira absolutamente seca e de 450 e 900, respectivamente.

A refinação das celuloses foi realizada em moinho Jokro Muhle e as propriedades físico-mecânicas foram comparadas a três níveis de refino: 25°SR, 40°SR e 55°SR.

Procurou-se verificar os efeitos de forma de cavacos, álcali ativo e fator H, sobre as seguintes propriedades das celuloses: rendimentos bruto e depurado, múmero kappa, visco sidade, resistências à tração, ao estouro e rasgo, esticamen to, densidade aparente, volume específico aparente e tempo de refino.

Constatou-se que a forma convencional industrial de cavacos constitui-se na mais indicada para a produção de celulose kraft. Dentre as formas não convencionais, as fitas e os mini-cavacos apresentam ótimas perspectivas para a produção em escala industrial. Quanto à fração serragem, deve-se dar preferência à fração grosseira, que mostrou padrões de qualidade aceitáveis para inúmeras utilizações.

Por outro lado, a serragem fina deve ser utilizada principalmento, como combustível, visto que as celuloses obtidas desse material deixavam muito a desejar.

### 1. INTRODUÇÃO

A matéria-prima fibrosa constitui-se, nos dias de hoje, em um recurso escasso para a indústria de celulose, quer seja no âmbito nacional ou mundial. No Brasil, principalmente no sul do país, como reflexo de uma exploração e utilização não racional, praticamente exauriram-se os povoamentos naturais de coníferas e folhosas mistas. Anteriormente, a existência dessas matas naturais abundantes contribuiu para o aparecimento e desenvolvimento de diversas indústrias de conversão de madeira, como as de celulose e papel, madeira serrada, etc. Com a crescente escassez da madeira, que passou a ocorrer após um período de intensa exploração, passou também a haver competição entre os diversos tipos de indústria, para um mesmo tipo de matéria-prima.

Tradicionalmente, a indústria madeireira era a menos exigente com tipos de madeira, mas era a mais, com as dimensões e qualidade das toras. Por outro lado, o fabricante de celulose era altamente exigente quanto aos tipos de madeira, sendo mais flexível no que concerne a dimensões e qualidade das toras. Do exposto, pode-se notar que os confrontos entre madeireiros e fabricantes de celulose não eram diretos, até há pouco tempo, pelo simples fato de que a matéria-prima de

um, não atendia perfeitamente aos requisitos do outro.

Entretanto, a abundância em matas naturais é apenas u ma lenda, principalmente no sul do nosso país e em muitas ou tras regiões do globo. Logicamente, a madeira obtida de plan tações florestais passou a se constituir na principal e quase única matéria-prima para os diversos tipos de indústrias de conversão de madeira. Paralelamente ao desenvolvimento da indústria de celulose, apareceram novos competidores para a matéria-prima escassa, como as indústrias de chapas, néis, carvão vegetal, etc. Em consequência, a indústria celulose passou a procurar novas formas de aproveitamento da madeira, já que esta passou a ter seu preço elevado pela diminuição de oferta. Uma das formas que se tem estudado é a utilização de resíduos fibrosos, quer sejam de serrarias, ou do próprio sistema industrial de fabricação de celulose. Cas ca e serragem são hoje resíduos internos da indústria de celulose a merecer o máximo de estudos para se verificar viabilidade para produção de celulose ou utilização como com bustível

Por outro lado, no momento em que a indústria de celu lose passou a atentar para o uso de resíduos, surgiu uma dificuldade inesperada. Tratava-se da forma dos cavacos utilizados para cozimento. Praticamente, desde a invenção dos modernos picadores, as fábricas de celulose passaram a utilizar dos cavacos de madeira com morfologia pré-estabelecida. Durante mais de um século, o setor de preparo de cavacos teve seu desenvolvimento estagnado, pelo fato de se supor ter atingido um ponto ótimo, com respeito ao uso de madeira na forma de toras. Com a possibilidade do uso de novas formas de matéria-prima, especialmente resíduos fibrosos, passou a haver necessidade de melhor conhecer como a morfologia de fragmentos de madeira não convencionais afetaria a qualidade

e o processo de produção de celulose para papel.

Alterações na forma dos cavacos têm como reflexo primário, variações na impregnação dos mesmos pelo licor de cozimento. A principal característica a afetar a impregnação é
a dimensão dos cavacos: quanto menor o cavaco, mais rápida é
a impregnação e menor pode ser o tempo de cozimento. Entretanto, cavacos muito pequenos podem trazer conseqüências negativas como: maior gasto de energia para se produzí-los;
maior proporção de quebras de fibras pela ação mecânica de
picagem; super-cozimento, com consequente degradação de carboidratos, etc.

Maiores estudos se fazem portanto necessários para se conhecer em como a forma de cavacos não usuais, obtidos prin cipalmente de resíduos fibrosos, afeta a produção de celulose. Tendo em vista o fato bem conhecido do processo kraft ser pouco exigente no que diz respeito à qualidade da matéria-prima, esse processo foi o selecionado para um estudo de avaliação da influência da morfologia de cavacos de uma mesma madeira, a obtida de Eucalyptus urophylla, sobre a qualidade da celulose correspondente. Procurou-se assim, verificar qual a forma de cavacos que conduzia a melhor bem como as condições de cozimento mais adequadas para os ti pos de material em questão. Os seguintes tipos de resíduos fibrosos, na forma de fragmentos de madeira não convencionais para fabricação de celulose, foram analisados: serragem grossa, serragem fina, mini-cavacos e fitas de madeira. resultados foram comparados ao tratamento onde se utilizavam cavacos convencionais da mesma madeira.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

A literatura mundial é rica em trabalhos de pesquisa que procuraram concentrar seus esforços em se estabelecer as dimensões ideais dos cavacos para o cozimento kraft. Resíduos fibrosos como serragem, cavacos de dimensões reduzidas, fitas de madeira, etc, têm também sido analisados para produção de celulose, mas de uma maneira individual. Não se conhecem estudos de avaliação conjuntas desses tipos de resíduos, procurando associar as qualidades das celuloses obtidas com as morfologias desses cavacos.

Em estudos sobre as dimensões dos cavacos, CHESLEY e ROBERTSON (1944) salientaram que a utilização de cavacos com dimensões reduzidas diminuia o rendimento em celulose na ordem de 7%. Não se mencionava, entretanto as dimensões mais recomendáveis para os cavacos. Por sua vez, BACKMAN (1946), utilizando cavacos preparados manualmente, foi quem pela primeira vez demonstrou a importância da espessura dos cavacos para a produção e qualidade da celulose. O autor indicava a espessura de 3 mm como a que melhores resultados conduzia, observando que cavacos com dimensões maiores, necessitavam de maior carga química para deslignificação a mesmo grau.

Os trabalhos desenvolvidos, mais tarde, por HARTLER e

ONISKO (1962), e COLOMBO <u>et alii</u> (1964), também demonstraram que os melhores resultados, para rendimento, teor de rejeitos e uniformidade da celulose, foram obtidos, quando se ut<u>i</u> lizavam cavacos com 3 mm de espessura.

ANDRADE <u>et alii</u> (1978) constataram que cavacos de eucalipto com espessura entre 4 a 6 mm eram os mais indicados para a obtenção de celulose kraft. Face aos resultados obtidos, os autores concluiram também, que a espessura dos cavacos podia variar entre 2 a 8 mm, produzindo—se polpas de boas características.

Muitos dos resíduos de madeira, quando utilizados para produção de celulose, costumam apresentar cavacos de formas completamente diferentes das especificações mencionadas pelos autores anteriormente citados. A serragem, tanto a grosseira como a fina, assemelhando-se essa última a um pó de madeira; as fitas ou lâminas de madeira; os fragmentos de madeira, lembrando a palitos de fósforo pelas dimensões, todos esses materiais devem apresentar comportamentos diferentes, quando sujeitos a cozimentos. A velocidade de penetração do licor, a carga química, bem como o tempo de cozimento, para cada uma dessas formas de madeira, deverão depender de uma série de fatores físico-químicos, que poderão acarretar maior ou menor degradação nas fibras celulósicas.

Um dos fatores físicos de maior relevância para essas formas de cavacos consiste na superfície de penetração do licor de cozimento. A serragem fina apresenta maior superfície de penetração de licor em relação aos cavacos convencionais, devendo-se comportar de forma diferente durante o cozimento. Deve-se procurar então, estabelecer condições de cozimento i deais para cada material, mediante combinações de tempo e temperatura de cozimento, bem como de carga alcalina, expres sa como álcali ativo.

WENZL (1970), verificou que durante o processo de cozimento, três etapas fundamentais devem ser consideradas: im pregnação da madeira pelo licor de cozimento, reação dos constituintes químicos com o licor e, finalmente, remoção dos compostos solubilizados da madeira. Segundo FERGUS etalii, 1973, ao se utilizar cavacos de dimensões reduzidas, como serragem, esses efeitos devem ser mais acentuados, pois a impregnação se dá mais rapidamente e consequentemente, os efeitos da degradação alcalina pelo licor de cozimento e da temperatura, são mais drásticos.

CARDWELL e CUNDALL (1976) investigaram os efeitos de sete variáveis do processo de cozimento sobre a qualidade da celulose. Segundo os autores, variações no álcali ativo, tem peratura e tamanho dos cavacos, afetavam significativamente o rendimento e o número kappa da celulose. No tocante às propriedades físico-mecânicas das polpas, verificou-se que as variáveis álcali ativo, tamanho dos cavacos e tempo à máxima temperatura foram também as mais importantes.

BUGAJER et alii (1979), em trabalho conduzido sobre produção de celulose de <u>Eucalyptus saligna</u> por intermédio do uso do fator H, constataram que, associando-se tempo e tempe ratura em combinações diferentes e, mantendo-se fixas as demais condições, consideráveis variações no rendimento, número kappa e teor de rejeitos poderiam ser notadas.

Existem na literatura alguns estudos, tanto de caráter de laboratório como industrial, que abordaram a utilização de resíduos, como serragem e fitas de madeira, procurando estabelecer a viabilidade econômica e técnica de seu aproveitamento.

Recentemente, MOSCA e MOSCON, citados por REITTER (1974), propuseram na Argentina, o uso de raspas ou fitas de madeira, previamente secadas, para cozimento kraft subsequen

te, em fase vapor. Os resultados do processo, conhecido como MM, têm sido promissores.

FOELKEL e COUTO (1978) estudaram a viabilidade de se produzir celulose kraft a partir de finas lâminas de madeira de eucalipto, comparando—se os resultados aos obtidos com ca vacos convencionais. As fitas ou lâminas conduziram a celulo ses com rendimentos superiores, maiores viscosidades, teores mulos de rejeitos e resistências ao rasgo, tração, estouro e dobramento, apenas ligeiramente inferiores às celuloses dos cavacos convencionais.

No caso da utilização da serragem de madeira, as informações contidas na literatura são muito mais amplas.

ISOTALO et alii (1974) estudaram a preparação de celu lose sulfato a partir de serragem e o uso desta celulose para fabricação de papel de impressão. A serragem provinha de serrarias e era oriunda ou de Pinus ou de "spruce". Realizaram-se estudos sobre as duas serragens isoladas e sobre misturas de ambas (70% de Pinus, e 30% de "spruce"). cozimentos foram realizados em laboratório, obtendo-se rendi mentos aceitáveis para o processo sulfato. Além disso, a ser ragem mista foi misturada a cavacos normais de Pinus para co zimentos. As celuloses obtidas eram branqueadas até 90° Estas eram testadas, quanto aos ensaios usuais de polpas e, também, quanto à capacidade de impressão. Os resultados indi cavam que as celuloses eram obtidas com rendimentos normais, com um tempo de cozimento ligeiramente menor que o usual; as resistências das polpas eram claramente inferiores às das ce luloses de cavacos normais, mas ainda assim, eram comparáveis às propriedades de algumas celuloses de fibras curtas. A porosidade e opacidade mostravam valores maiores que o nor mal. A mistura de serragem com cavacos, antes do cozimento, não prejudicava tanto as propriedades das celuloses como seria de se supor. O branqueamento das celuloses de serragem

era inteiramente comparável ao das celuloses de cavacos. opacidade da celulose branqueada de serragem era superior à da celulose de cavacos correspondente. Os autores sugeriam a dicionar a polpa branqueada de serragem ligeiramente refinada, como um aditivo na fabricação de papel de impressão. Com isso, argumentavam melhorias na porosidade e opacidade. tretanto, desaconselhavam adicionar a polpa bem refinada, porque estas melhorias não eram obtidas. Concluiram também, que a quantidade e o grau de refino da celulose de serragem não influenciavam as propriedades de impressão (lisura, rigi dez e alvura). Os autores compararam as celuloses de serragem com a de bétula. Observaram que as celuloses de serragem mostravam auto-ruptura e resistência superficial inferiores, mas que as suas propriedades de impressão, elongação, resistências ao rasgo e dobramento eram similares às propriedades correspondentes da celulose de bétula.

FERGUS et alii (1973), publicaram os resultados pesquisas sobre produção de celulose de serragem de Pinus radiata. As pesquisas foram realizadas na Nova Zelândia. Amostras de serragem do  $\underline{P}$ .  $\underline{radiata}$  e de finos do picador foram misturadas e deslignificadas em laboratório pelo processo kraft, até números kappa pré-estabelecidos. Algumas polpas foram branqueadas. Os autores notaram que a serragem não se deslignificava tão facilmente como os cavacos mais, necessitando aproximadamente 0,7% a mais de álcali at $\underline{i}$ vo base madeira ou um aumento de 450 unidades no fator H. Os rendimentos da celulose de serragem eram inferiores. O branqueamento destas celuloses era fácil, e, com as sequências CEHDP ou DcEHDP atingia-se 89-90% de alvura. As resistências, após refino em moinho PFI, eram em média 35 a 50% infe riores às das celuloses obtidas de cavacos. As misturas celuloses de serragem e cavacos foram avaliadas e se notaram

perdas no estouro, rasgo e tração, provadas na maioria dos casos, serem proporcionais aos teores de celulose de serragem. Os autores concluiam, afirmando que era possível se produzir celuloses de qualidades aceitáveis para muitos tipos de papéis, a partir de serragem e finos de picador da madeira de Pinus radiata.

Serragens de madeiras de folhosas também têm sido ana lisadas para fins papeleiros. McCLELLAND e KUKOLICH (1974) relataram bem sucedido experimento, onde serragem de lho era transformada em celulose pelo processo NSSC. O objetivo era verificar se a celulose resultante era adaptada para a produção de miolo de papelão ondulado. Os resultados eram comparados aos obtidos para polpa NSSC de cavacos mais de carvalho. Procuraram também descobrir as condições i deais de cozimento para máximas resistências, e que de serragem podiam ser tolerados junto aos cavacos, sem prejudicar as resistências e o desempenho da máquina de papelão. Como conclusão, afirmou-se que o uso do resíduo gem era aparentemente viável como madeira complementar para a produção de polpa NSSC. O uso de grandes quantidades serragem do carvalho, era entretanto, inviável, porque as re sistências da polpa caiam demais. Por outro lado, 20% de ser ragem podia ser misturada aos cavacos para se conseguir polpa NSSC com características similares às obtidas apenas de cavacos.

Outros processos, além do kraft e NSSC, têm sido suge ridos para serragens. NELSON (1975) analisou as propriedades das celuloses bissulfito, NSSC e pasta mecânica de refina dor, obtidas de serragem de Pinus radiata. A serragem foi deslignificada mais facilmente que os cavacos pelo processo bissulfito, e, conduziu a rendimentos comparáveis. A mistura de 10% de polpa bissulfito de serragem à polpa bissulfito

normal reduzia as propriedades que dependiam da ligação entre fibras, em 10% e à resistência ao rasgo, em 20%. A pasta NSSC de serragem foi produzida com alto rendimento e suas propriedades mostraram-se como sendo cerca de 70% das resistências à tração e ao rasgo e, 40% da resistência ao estouro. O autor produziu, ainda, pasta mecânica de refinador a partir da serragem. Esta pasta era misturada à pasta mecânica comercial em quantidades crescentes e as misturas avaliadas físico-mecanicamente. As misturas, que continham mais do que 10% de serragem, mostravam apreciável perda de resistência. Como conclusão, NELSON sugeria que as celuloses bissulfito, NSSC ou pasta mecânica de serragem podiam ser adicionadas às polpas correspondentes de cavacos até a proporção de 10%, sem prejuízos.

BUBLITZ e YANG (1975) preocuparam-se em caracterizar a qualidade da celulose kraft de serragem de "Douglas-fir". Foram separadas duas frações de serragem: serragem grossa e serragem fina. Cada das amostras era deslignificada, variando o álcali ativo, mantidas constantes as outras condições. Os rendimentos para a fração grosseira da serragem eram 1,5% maiores em média, enquanto os números kappa eram maiores em cerca de 6,5 ml. A serragem grossa conduziu a celuloses, que necessitavam maiores tempos de refino e produziam folhas manuais mais volumosas. As celuloses de serragem fina mostravam maiores resistências à tração, estouro, dobramento e elongação, mas piores resistências ao rasgo. Tanto a serragem grossa como fina produziram polpas mais fracas que as obtidas apenas de cavacos.

PROCTER e CHOW (1976) compararam as propriedades da polpa kraft de serragem de <u>Thuja plicata</u> às propriedades de celuloses comerciais de fibra curta. A principal característica da polpa branqueada da serragem foi definida pelos auto

res como sendo a alta opacidade, superior às opacidades das celuloses de cavacos da própria <u>Thuja</u> e às opacidades normais de celuloses comerciais de madeiras de folhosas.

A mistura de cavacos normais com serragem, no envio ao digestor para o cozimento, não deixa de ser uma interessante alternativa. Com isso evita-se a necessidade de linhas independentes para processar cada tipo de material. Recentemente, MACKIE e McATEER (1977) apresentaram resultados sobre cozimentos conjuntos de cavacos e serragem de "hemlock" e "Douglas-fir". Os autores observaram que até 40% de serragem podia ser incluída na alimentação do digestor, sem contrar problemas no cozimento. A inclusão de serragem correspondia a uma maior demanda de álcali ativo, em média 0,3% de Na<sub>2</sub>O ativo para cada 10% de serragem. Para altas adições de serragem, as propriedades da celulose eram prejudicadas. Entretanto, até 10% de serragen misturada aos cavacos, trazia pequeno efeito nas propriedades físico-mecânicas da celu lose kraft branqueada resultante. Os autores realizaram também levantamento en fábricas de celulose kraft, que usavam serragem misturada a cavacos, e indicaram, que até 10% de serragem poderia ser tolerada na alimentação do digestor. Não foram constatadas pordas de rendimento até este nível de adição. Curiosamente, muitas fábricas afirmaram preferir des lignificar cavacos e serragem separadamente.

Existem diversas referências bibliográficas no que concerne à produção comercial de celulose de serragem pura ou em mistura com cavacos.

O cozimento de serragem em digestores descontínuos com circulação forçada do licor dá origem a maior número de entu pimentos, e compactações da polpa (MACKIE e MCATEER, 1977): Em alguns digestores contínuos costumam ocorrer canais prefe renciais no cozimento da massa de serragem e dificuldades na

descarga do digestor. Para sobrepujar estes problemas, a ser ragem tem sido preferida deslignificar em digestores continuos especiais Pândia, M & D, Kamyr ou Esco. A pré-mistura e o pré-aquecimento de licor brance e serragem são normalmente realizados para garantir distribuição uniforme do massa de scrragem. Com isso evita-se cozimentos irregulares (MACKIE e McATEER, 1977). O cozimento e o branqueamento devem minimizar os teores de feixes para se garantir polpas bem depuradas nos sistemas de centri-cleaners. Os padrões de limpeza de polpa só são atingidos quando se usar serragens limpas. A celulose kraft de serragem possui, como rotina, pro priedades mecânicas inferiores, quando comparada à celulose obtida de cavacos normais da mesma espécie. Certas fábricas kraft preferem ter linhas separadas para cozinhar, branquear e secar a celulose de serragem. Entretanto, é óbvia a vantagem de se deslignificar a serragem e os cavacos em misturas, em dosagens tais, que as propriedades das celuloses mantidas em níveis aceitáveis.

Algumas opiniões de fabricantes de celulose a partir de scrragem foram levantadas e estão relatadas a seguir:

LINKHART (1960) relatou no V Congresso Florestal Mundial, as experiências bem sucedidas, da fábrica de Lewiston, Idaho, USA, da Potlatch Forest Inc, que produz celulose kraft de serragem. Segundo LINKHART, a Potlatch Forest Inc é uma empresa madeireira, que possuia diversas serrarias. Para utilizar a serragem residual, a fábrica de Lewiston instalou, em 1953, um digestor Pândia contínuo, devido ao conhecimento, que a serragem se compacta c entope digestores descontínuos. Pelo sucesso alcançado, em 1955, a fábrica instalou outra unidade Pândia para deslignificar serragem misturada com cavacos de costaneiras, resíduos da fabricação de lamina dos, etc. A experiência da fábrica mostrou que a mistura das

celuloses de serragem e de cavacos era viável, e, que as propriedades das celuloses resultantes não eram prejudicadas. A operação da fábrica indicou que a serragem podia ser deslignificada a um número de permanganato 2 a 3 pontos maior que os cavacos, e, ainda assim, branquear-se adequadamente, quam do se misturavam os dois tipos de celuloses não-branqueadas. Isso permitia maior resistência e menor consumo de licor branco. O autor concluia, que o cozimento contínuo de serragem era o mais indicado e no futuro, previa a dominância des tes processos. Pelo uso de digestores contínuos tornava-se possível a utilização melhor dos resíduos lenhosos de serrarias e se obtinha produto final de boa qualidade.

BEENAN (1968) analisou os prós e contras do uso serragem pelas fábricas de Camas, Wash., e Wauna, Ore., Crown Zellerbach Corp. Nestas duas fábricas, a serragem e outros residuos lenhosos representavam 20% do suprimento de madeira. Para cortos papéis, chegava-se a usar de 10 a de celulose de serragem. A quantidade de serragem a se usar era dependente do tipo de papel produzido. O autor reportava uma necessidade de 2 400 kg de serragem por tonelada de pol pa. Embora não existissem claras especificações para a compra da serragem, como existe para cavacos, procurava-se quirir apenas serragem grosscira das serrarias, deixando de lado a serragem fina. A serragem era separada de outros pos de pedaços de madeira, como lascas e cavacos, para envio às fábricas. Un dos problemas encontrados foi a presença de partículas de casca na serragem. Decidiu-se adquirir serragem apenas das serrarias que usavam toras descascadas. A cas ca trazia problemas ao cozimento e devia ser evitada. Entretanto, a casca não era o único contaminante da serragem comprada de serrarias: areia, sujeiras diversas, carvõezinhos formados durante a serra das toras, eram as impurezas mais comuns. Lascas de madeira, costaneiras e outros duos eram transformados em serragem para homogenizar as dimensões do material a ser deslignificado. Para BEEMAN, os ca vacos e a serragen possuem dimensões bem diferentes, por isso deveriam ser cozidos separadamente. A serragem, por suas características, precisava de equipamentos especiais. O digestor mais comum para a serragem era relatado como sendo o M & D, onde o cozimento da serragem era rápido. em meia hora. Um grave problema relatado por BEEMAN foi o armazenamento da serragem no pátio de madeira. O aquecimento expontâneo destas pilhas era mais rápido que nas pilhas de cavacos, e o perigo de auto-combustão era maior. O autor sugeria um armazenamento por período de no máximo seis meses. maior vantagem do uso da serragem foi relatada como sendo custo. A serragem, sendo um resíduo, possuia baixo custo, às vezes desprezível, sendo seu custo representado quase somente pelos gastos em manuseio e transporte.

Outra empresa que recentemente relatou os resultados de sua produção industrial de celulose kraft branqueada de serragem, foi a Weyerhaeuser, em Kamloops, B.C., Canadá (TAY LOR, 1977). A fábrica de Kamloops possuia uma capacidade diária de 1 100 toneladas, das quais 25% era celulose de serragem. A celulose de serragem era produzida e processada independentemente. A unidade de deslignificação era um digestor M & D. A celulose de serragem era depurada e branqueada, con duzindo a um produto de boa qualidade. As principais áreas de controle de qualidade eram: matéria-prima e cozimento. O maior problema da matéria-prima era a contaminação com casca, cavacos, rochas, areia, etc. O controle da serragem, que chegava à fábrica, tinha que ser cuidadoso para evitar a entrada destes contaminantes. A amostragem da serragem e a observação visual da descarga dos caminhões eram fundamentais

no controle da matéria-orima. Os principais ensaios eram: classificação e determinação dos teores de casca, sujeira e umidade. O controle do cozinento kraft era realizado com base no número kappa e no fator H. As polpas de serragem possuiam resistências ao estouro, rasgo e tração de somente 65 a 70% do que apresentavam as celuloses correspondentes de ca vacos. A resistência ao dobramento da celulose de serragem era extremamente baixa. A celulose de serragem era comparável a celuloses kraft de fibras curtas ou a celuloses sulfito. A superfície das folhas de papóis produzidas com celulose de serragem eram lisas e a estabilidade dimensional do pa pel era excelente. Estas características se combinavam bem a un rápido tempo de moagem. Os seguintes usos eram dados às celuloses de scrragen: papéis higiênicos, papéis bases de fo tografia, papéis para duplicação, "tissue", cartões de compu tador, envoltórios de frutas, papelões diversos, etc.

#### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira utilizada nesse experimento provinha de plantação de <u>Hucalyptus urophylla</u>, de origem híbrida, com 7 anos de idade, localizada na região de Santa Bárbara, Minas Gerais.

Na preparação do material, cinco formas diferentes de cavacos foram devidamente preparadas e identificadas a partir de um lote ao acaso, de toras de madeira, equivalente a trinta estéreos, como se segue:

- C<sub>1</sub>: Cavacos convencionais, obtidos em picador industrial, com as seguintes dimensões médias: comprimento, 2,5 cm; largura, 1,8 cm; e espessura, 0,4 a 0,6 cm;
- C2: Cavacos com espessura menor que 0,2 cm, denominados nessa pesquisa de mini-cavacos;
- C<sub>3</sub>: Serragem fina, definida como a fração da serragem, que passava através de uma peneira de 15 malhas/polegada;
- C<sub>4</sub>: Serragem grossa, definida como a fração da serragem, que ficava retida em uma peneira de 15 malhas/polegada;

C<sub>5</sub>: Fitas de madeira, obtidas em desengrossadeira de serraria, retiradas no sentido longitudinal da tora, apresentando as seguintes dimensões: comprimento variando de
2,0 a 5,0 cm; largura, de 1,0 a 2,5 cm; espessura, de
0,5 a 1,0 mm.

Os cavacos, de diversas formas, obtidos todos do mesmo material, foram homogeneizados por tipo, secados ao ar e armazenados em sacos plásticos para evitar alterações em seu teor de umidade.

# 3.1. <u>Determinação da densidade a granel</u> dos cavacos

A densidade a granel de cavacos de madeira, é da maior importância para os cálculos de cargas de digestores e rendimentos industriais em produção de celulose. A determinação dessa densidade é realizada de maneira simples, pela relação entre o peso absolutamente seco de cada tipo de cavaco, por um dado volume desse material. A unidade mais usual para se expressar densidade a granel é kg/m³.

## 3.2. Dimensões das fibras de madeira

Tendo em vista a importância das correlações entre as propriedades anatômicas das fibras lenhosas e as resistências das celuloses correspondentes, decidiu-se determinar as seguintes dimensões das fibras da madeira, em cada tipo de cavacos: comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede celular.

O comprimento médio das fibras era determinado por mi cro-projeção, através da mensuração de todas as fibras do

campo, quer inteiras ou quebradas. As demais dimensões eram medidas no meio de fibras inteiras, em microscópio dotado de ocular micrométrica.

Foram realizadas 50 leituras para cada uma das dimensões das fibras, para as diversas formas de cavacos em estudo.

A individualização das fibras para o ensaio foi obtida por maceração a quente, com solução nítrica/acética, na proporção de cinco partes de ácido acético glacial por uma parte de ácido nítrico concentrado.

## 3.3. Produção de celulose

Para a deslignificação da madeira e conversão a celulose, adotou-se o processo kraft, frente às suas vantagens e aceitação para produção de celulose nos dias atuais. Por outro lado, é bem conhecido o fato do processo kraft ser razoa velmente tolerante a danos mecânicos nos cavacos.

### 3.3.1. Condições de cozimento

Com as finalidades de se promover uma comparação rigo rosa entre as celuloses das diversas formas de cavacos e de se conhecer as condições melhores de deslignificação desses cavacos, trabalhou-se com condições variáveis de álcali ativo e de fator II. As demais condições de cozimento foram mantidas fixas.

# Condições variáveis

- Alcali ativo: 13 e 15% de  $Na_2^0$  sobre madeira absolutamente seca (a.s.);

- Fator H: 450 e 900.

# Condições pré-estabelecidas

- Sulfidez: 25%;
- Temperatura máxima: 170°C;
- Relação licor/madeira: 5/1.

#### 3.3.2. Cozimentos

Os cozimentos foram realizados em digestor rotativo, com 2 a 3 rpm, de aço inoxidável, com capacidade de 20 litros, com sistema elétrico de aquecimento e dotado de termômetro e manômetro. Utilizou-se o equivalente a 400 gramas de madeira absolutamente seca por cozimento.

Para as cinco formas de cavacos, realizaram-se cozimentos, variando o álcali ativo e o fator H, de acordo com
um esquema fatorial 5 x 2 x 2, para forma de cavacos, álcali
ativo e fator H. A experimentação perfazia assim 20 tratamento, tendo-se adotado 3 repetições por tratamento, o que resultava em um total de 60 parcelas.

# 3.3.3. Lavagem e depuração das celuloses

Ao término de cada cozimento, o digestor era descarre gado, sendo os cavacos amolecidos recebidos em uma peneira de tela fina. Em seguida, esses cavacos eram passados através de um desfibrador de discos, para individualização das fibras. Essas eram lavadas e depuradas, através de uma peneira com 0,9 mm de diâmetro visando-se a separação da polpa ce lulósica do licor preto residual e dos rejeitos.

# 3.4. Determinação dos rendimentos em celulose e teores de rejeitos

Mediante a relação entre o peso absolutamente seco (a.s.) de celulose depurada e o peso absolutamente seco (a.s.) de madeira utilizada no cozimento, calculou-se o rendimento depurado em celulose, expressando-se o resultado em porcentagem.

O teor de rejeitos era calculado pela relação porcentual entre o peso a.s. dos rejeitos separados na depuração e o peso a.s. de madeira utilizada.

O rendimento bruto era calculado pela adição dos valores correspondentes a rendimento depurado e teor de rejeitos.

# 3.5. Determinação do número kappa das celuloses

Esta análise, que fornece uma indicação do grau de deslignificação da celulose, foi conduzida de acordo com o método da T.A.P.P.I. (Technical Association of the Pulp and Paper Industry), de número T<sub>236</sub> m-60°

#### 3.6. Determinação da viscosidade das celuloses

A viscosidade das celuloses é um excelente índice de controle de qualidade das celuloses, uma vez que, associando-se ao peso molecular das cadeias de carboidratos, dá uma indicação do grau de dogradação das mesmas.

Essa determinação obedeceu ao método TAPPI T 230-su-63º

# 3.7. Preparo das amostras para ensaios físico-mecânicos

#### 3.7.1. <u>Refino</u>

Em moinho Jokro-Muhle, a 150 rpm, procedeu-se ao refino da celulose depurada, utilizando-se 16 gramas a.s. por panela, a uma consistência de 5%. O refino foi conduzido, em média, em seis tempos por polpa, inclusive o tempo zero minutos.

O grau de refino era determinado como grau Schopper Riegler, de acordo com o método da A.B.C.P. (Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel), de múmero C-10/73.

## 3.7.2. Formação de folhas para ensaios

A formação de folhas se deu em formador tipo Koethen Rapid, com 2 secadores. Foram confeccionadas 7 folhas para cada tempo de refino, ou seja, 42 folhas por cozimento. O trabalho total exigiu a produção de aproximadamente 2 520 folhas.

## 3.7.3. Acondicionamento das folhas

Para evitar os efeitos de variações ambientais sobre os resultados dos ensaios físico-mecânicos, as folhas destinadas aos testes foram acondicionadas durante 48 horas em ambiente climatizado à temperatura de 20°C ± 2°C e umidade relativa de 65% ± 2%, de acordo com a A.B.N.T. (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

### 3.8. Ensaios físico-mecânicos

## 3.8.1. Resistência à tração

A resistência à tração, expressa pelo comprimento de auto-ruptura, em quilômetros, foi determinada de acordo com o método TAPPI T<sub>220 m-60</sub>.

#### 3.8.2. Resistência ao estouro

A resistência ao estouro, expressa como fator de estouro, foi determinada e calculada conforme método TAPPI  $^{\mathrm{T}}$ 220 m-60°

## 3.8.3. Resistência ao rasgo

A resistência ao rasgo, expressa como fator de rasgo, foi determinada conforme método TAPPI T<sub>220 m-60</sub>.

### 3.8.4. Esticamento

O esticamento foi calculado como porcentagem de alongamento.

## 3.8.5. Densidade aparente

A densidade aparente das folhas, expressa em gramas por centímetro cúbico, foi determinada conforme método TAPPI  $^{\mathrm{T}}$ 220 m-60°

#### 3.8.6. Volume específico aparente

O volume específico aparente das folhas foi expresso em centímetros cúbicos por grama, e determinado conforme método TAPPI T

#### 3.8.7. Tempo de refino

O tempo de refino para se atingir a um grau pré-estabelecido, foi expresso em minutos.

## 3.9. Análises estatísticas

Para o estudo das propriedades da celulose, tais como, rendimentos, número kappa e viscosidade, os tratamentos foram dispostos segundo um esquema fatorial  $5 \times 2 \times 2$ , para os fatores forma de cavacos, álcali ativo e fator H, respectivamente, em um delineamento inteiramente casualizado, com 3 respective petições.

Para o estudo das propriedades físico-mecânicas, os tratamentos foram também dispostos em um esquema fatorial, do tipo 5x3x2x2, para os fatores forma de cavacos, grau Schopper Riegler, álcali ativo e fator H, respectivamente, em um delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições. Nesse caso, as propriedades físico-mecânicas eram comparadas a três níveis de refino, a saber 25°SR, 40°SR e 55°SR. Os valores das propriedades a esses níveis eram obtidos por interpolação gráfica.

Para todos os casos, foram efetuadas análises da variância e as comparações de médias foram feitas através da a plicação do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1. Densidade a granel dos cavacos

Os resultados encontrados para a densidade a granel dos cavacos estão relatados no Quadro 1.

QUADRO 1 - Densidade a granel dos cavacos (kg/m<sup>3</sup>)

| Forma de Cavacos      | Densidade a Granel |
|-----------------------|--------------------|
| Cavacos convencionais | 191                |
| Mini-eavacos          | 166                |
| Serragem fina         | 157                |
| Serragem grossa       | 151                |
| Fitas                 | 66                 |
|                       |                    |

Os resultados mostram, que os cavacos não convencionais tais como serragem fina, serragem grossa, mini-cavacos
e fitas, apresentavam sempre menor peso por unidade de volume, em relação aos cavacos convencionais. O material mais volumoso era o constituído de fitas, enquanto os demais ocupa-

vam valores intermediários.

Em termos práticos, significava que um mesmo volume de digestor é capaz de receber mais material seco no caso de cavacos normais. Desde que as condições fossem constantes, em todos os casos, a produção diária seria maior para uma fábrica que utilizasse cavacos convencionais, em relação aos outros tipos de cavacos.

#### 4.2. <u>Dimensões das fibras</u>

Os resultados, que foram obtidos para as dimensões das fibras, constam do Quadro 2.

QUADRO 2 - Dimensões das fibras para as diversas formas de cavacos

| Dimensão<br>Forma de Cavacos | Compri-<br>mento<br>(mm) | Largura<br>( ) | Diâme-<br>tro do<br>lúmen<br>( ) | Espessura<br>da parede<br>( ) |
|------------------------------|--------------------------|----------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Cavacos convencionais        | 0,924                    | 18,12          | 10,87                            | 3,62                          |
| Mini-cavacos                 | 0,849                    | 18,07          | 10,35                            | 3,86                          |
| Serragem fina                | 0,720                    | 17,01          | 10,10                            | 3,45                          |
| Serragem grossa              | 0,795                    | 17,71          | 10,42                            | 3,64                          |
| Fitas                        | 0,941                    | 18,43          | 10,57                            | 3,93                          |

A principal informação, que o Quadro 2 traz, é com respeito à fragmentação das fibras pela picagem. As fitas de madeira, tiradas no sentido longitudinal da árvore, conduziram às fibras de maior comprimento médio, evidenciando a pou ca ação de corte nas mesmas.

A seguir, situaram-se os cavacos convencionais, os minimidades, a serragem grossa e a serragem fina. Deduz-se daí, que a fragmentação da madeira em cavacos cada vez menores, é acompanhada por uma diminuição do comprimento médio das fibras.

# 4.3. <u>Resultados para a deslignificação</u> da madeira

Na deslignificação das cinco formas de cavacos da madeira do <u>Eucalyptus urophylla</u>, obtiveram-se os resultados para rendimentos, número kappa e viscosidade, que estão apresentados e discutidos parceladamente nesse ítem.

#### 4.3.1. Rendimento bruto em celulose

Os valores relativos a rendimento bruto, expressos em porcentagem, bem como suas análises estatísticas, aparecem nos Quadros 3 a 6.

Para fins de se facilitar a discussão e apresentação dos resultados, decidiu-se usar a seguinte simbologia:  $A_1 = \text{Alcali ativo } 13\%$ ;  $A_2 = \text{Alcali ativo } 15\%$ :  $F_1 = \text{Fator H } 450$  e  $F_2 = \text{Fator H } 900$ .

A análise da variância para rendimento bruto mostrou efeito significativo (P<0,01) para forma de cavacos, fator H e álcali ativo, bem como para as interações entre esses fatores (Quadro 4). Realmente, esses parâmetros constituem-se em algumas das principais variáveis a afetar as propriedades da celulose, especialmente rendimento (CARDWELL e CUNDALL, 1976).

Verificou-se no Quadro 6, que para todas as formas de cavacos em estudo, houveram diferenças de rendimento em celu

lose, dentro dos fatores fixados. Ainda nesse quadro, podese observar, que a forma convencional de cavacos conduzia a maiores rendimentos, enquanto a serragem fina aos menores, in dependentemente das condições de cozimento. Observou-se também que os maiores rendimentos eram obtidos em condições menos drásticas de cozimento, independentemente da forma dos cavacos. O aumento das condições de cozimento, quer do álcali ativo ou do fator H, tendiam a se traduzir em maior remoção de material, com consequente queda de rendimento.

Analisando-se os resultados de rendimentos brutos obtidos para as serragens, observou-se a menor viabilidade da serragem fina, frente aos baixos valores obtidos. Por outro lado, a serragem grossa mostrou resultados bem melhores, o que confirma os dados de BUBLITZ e YANG (1975), que relataram a superioridade da serragem grossa sobre a fina. Entretanto, a serragem fina não precisa ser completamente margina lizada para produção de celulose. Alguns autores como MACKIE e MCATEER (1977) e McCLELLAND e KUKOLICH (1974), recomendam a mistura da serragem aos cavacos normais, em proporções de até 20%, produzindo celulose de boa qualidade.

Comparativamente aos cavacos convencionais, os dois tipos de serragem deram menores rendimentos brutos. Em média, a serragem grossa conduziu a rendimentos 6% menores, base madeira, e a serragem fina, 11% menores. CHESLEY e ROBERT SON (1944) relataram, que a utilização de cavacos de dimensões reduzidas colaborava para uma perda de rendimento da or dem de 7%, o que está razoavelmente de acordo com as perdas de rendimento obtidas nesse trabalho.

Mini-cavacos e fitas de madeira resultaram em celuloses com rendimentos brutos similares a ligeiramente inferiores aos resultados dos cavacos convencionais. Entretanto, no tou-se uma maior estabilidade do rendimento das celuloses de fitas que, aparentemente, mostraram maior resistência à pe<u>r</u> da de rendimento nas condições mais drásticas de cozimento.

CTABEO 3 - Rendimento bruto das celuloses (%)

| cali       |         |       |           |                       |   |   |            |                  |      | Foi         | Forma de Cavacos | Cavac   | 33   |      |         |                 |      |          |         |                  |      |
|------------|---------|-------|-----------|-----------------------|---|---|------------|------------------|------|-------------|------------------|---------|------|------|---------|-----------------|------|----------|---------|------------------|------|
| A55 VO (A) |         | Cavac | 30 80:    | Cavacos Convencionals | onale   |   | Mini-c     | Mini-cavacos     |      | រ័          | Serragem Fina    | n Fina  |      | Se   | ггавеш  | Serragem Grossa | 38   |          | ī       | Fitas            |      |
|            | Fator H | Re    | petica    | Repetição/ média      | lia   | Re  | petiçã     | Repetição/ média | f.a. | Rej         | Repetição/ média | )/ méd: | [a]  | Rej  | pe tiçã | Repetição/média | la l | Re       | pe tiçā | Repetição/ média | 13   |
|            | (£)     | 19    | 29        | 39                    | iĸ  | 1.0   | 2 <u>ā</u> | 1s 28 3s 🛣       | ı×   | <b>9</b> 7. | 16 29 30 X       | 38      | IH   | 1°   | 20      | 19 20 39 X      | ı×   | <b>.</b> | 5.      | 10 24 34         | IM   |
| -          | 450     | 59,6  | 57,8      | 58,8                  | 59,6 57,8 58,8 58,7 53,7 54,6 53,5 53,9 45,1 44,1 46,5 45,2 48,2 50,5 48,8 49,2 53,3 53,8 54,1 53,7 | 53,7  | 54,6       | 53,5             | 53,9 | 45,1        | 44,1             | 46,5    | 45,2 | 48,2 | 50,5    | 48,8            | 49,2 | 53,3     | 53,8    | 54,1             | 53,7 |
| (1         | 006     | 52,8  | 53,8      | 52,0                  | 52,8 53,8 52,0 52,9 52,6 53,3 53,4 53,3 42,8 43,1 43,4 43,1 48,6 47,8 49,3 48,6 50,9 53,2 52,9 52,3 | 52,6  | 53,3       | 53,4             | 53,3 | 42,8        | 43,1             | 43,4    | 43,1 | 48,6 | 47,8    | 49,3            | 48,6 | 50,9     | 53,2    | 52,9             | 52,3 |
| r<br>H     | 450     | 53,6  | 53,6 54,1 | 53,3                  | 53,7  | 51,3 50,3 50,2 50,6 43,8 44,1 42,1 43,3 48,8 49,7 48,7 49,1 51,2 51,2 51,1 51,2 | 50,3       | 50,2             | 50,6 | 43,8        | 44,1             | 42,1    | 43,3 | 48,8 | 49,7    | 48,7            | 49,1 | 51,2     | 51,2    | 1,13             | 51,2 |
| ;          | 006     | 51,7  | 52,4      | 51,6                  | 51,7 52,4 51,6 51,9 49,7 49,0 49,6 49,4 42,4 42,4 42,4 42,4 46,8 47,4 47,2 47,1 52,5 51,7 51,1 51,8 | 49,7  | 49,0       | 49,6             | 49,4 | 45,4        | 45,4             | 45,4    | 42,4 | 46,8 | 41,4    | 47,2            | 47,1 | 52,5     | 7,13    | 51,1             | 51,8 |

QUADRO 4 - Análise da variância para rendimento bruto

| Fonte de Variação    | GL | Quadrados Médios          |
|----------------------|----|---------------------------|
| Forma de cavacos (C) | 4  | 212,8890**                |
| Fator H (F)          | 1  | 39 <b>,</b> 2365**        |
| Alcali ativo (A)     | 1  | 60,9638**                 |
| Interação Cx F       | 4  | 5 <b>,</b> 1281 <b>**</b> |
| Interação CxA        | 4  | 4 <b>,</b> 2315**         |
| Interação FxA        | 1  | 4 <b>,</b> 7266**         |
| Interação CxAxF      | 4  | 3,2330**                  |
| Erro                 | 40 | 0,5066                    |
| C.V. = 1,42%         |    |                           |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 5 - Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F) sobre o rendimento bruto de acordo com o desdobramento da interação tripla CxAxF

| Fonte de      | Variação   | 0  | ${	t GL}$ | Quadrados Médios               |
|---------------|------------|--|-----------|--------------------------------|
| Forma de      | cavacos    | (C)/A, F,  | 4         | 79,4830**                      |
| tt it         | 71         | "/AlF2   | 4         | 54 <b>,</b> 8508**             |
| 11 11         | 11         | " /A <sub>2</sub> F <sub>1</sub>                                 | 4         | 44,5122 <sup>**</sup>          |
| 11 11         | 73         | "/A <sub>2</sub> F <sub>2</sub>                                  | 4         | 46 <b>,</b> 6354 <sup>**</sup> |
| Alcali at     | civo (A)   | /F <sub>7</sub> C <sub>7</sub>                                   | 1         | 38 <b>,</b> 1528**             |
| 11            | 11 11      | /F <sub>1</sub> C <sub>2</sub>                                   | 1         | 17,0016**                      |
| 11            | ti ti      | /F <sub>1</sub> C <sub>3</sub>                                   | 1         | 5 <b>,</b> 1708**              |
| 11            | 17 F1      | /F <sub>1</sub> C <sub>4</sub>                                   | 1         | 0,0073                         |
| Ħ             | <b>!</b> 1 | /F <sub>1</sub> C <sub>5</sub>                                   | 1         | 9 <b>,</b> 7537**              |
| n             | 11 11      | /F <sub>2</sub> C <sub>1</sub>                                   | 1         | 1,4800                         |
| 71            | 11 11      | /F <sub>2</sub> C <sub>2</sub>                                   | 1         | 19,9108**                      |
| 11            | II II      | /F <sub>2</sub> C <sub>3</sub>                                   | 1         | o <b>,</b> 7280                |
| 11            | 11 11      | /F <sub>2</sub> C <sub>4</sub>                                   | 1         | 2 <b>,</b> 88 <b>42*</b>       |
| 17            | 11 11      | /F <sub>2</sub> c <sub>5</sub>                                   | 1         | 0 <b>,</b> 4592                |
| Fator H (     | F)         | $/A_1^C_1$   | 1         | 51,3922**                      |
| 11 11         | II         | /A <sub>1</sub> C <sub>2</sub>                                   | 1         | 1,1400                         |
| 11 11         | II         | /A <sub>1</sub> c <sub>3</sub>                                   | 1         | 6,8100**                       |
| 77 89         | †1         | /A <sub>1</sub> C <sub>4</sub>                                   | 1         | 0,6133                         |
| 77 00         | II         | /A <sub>1</sub> C <sub>5</sub>                                   | 1         | 2 <b>,</b> 9600*               |
| 11 11         | 11         | /A <sub>2</sub> C <sub>1</sub>                                   | 1         | 4 <b>,</b> 8766**              |
| 11 11         | Ħ          | /A <sub>2</sub> C <sub>2</sub>                                   | 1         | 9,2266**                       |
| 11 11         | tt         | /A <sub>2</sub> C <sub>3</sub>                                   | 1         | 1,4200                         |
| f1 F1         | n          | /A <sub>2</sub> C <sub>4</sub>                                   | 1         | 5 <b>,</b> 7233**              |
| †1 1 <b>†</b> | ††         | /A <sub>2</sub> C <sub>4</sub><br>/A <sub>2</sub> C <sub>5</sub> | 1         | 0,5266                         |
| Erro          |            |  | 40        | 0,5066                         |

Significativo, ao nível de 1% de probabilidade. Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 6 - Efeito de forma de cavacos (C), dentro das combinações entre os níveis de álcali ativo (A) e fator H (F), sobre o rendimento bruto das celuloses

| Alcali  |                               | For                   | rma de Cava      | cos                |        |
|---|-------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|--------|
| Ativo (A) Fator H (F)   | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cava-<br>cos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas  |
| A <sub>1</sub> F <sub>1</sub>                                   | 58 <b>,</b> 7 a*              | 53 <b>,</b> 9 b       | 45 <b>,</b> 2 đ  | 49,2 c             | 53,7 b |
| $^{\mathrm{A}}$ $_{\mathrm{1}}$ $^{\mathrm{F}}$ $_{\mathrm{2}}$ | 52,9 a                        | 53,3 a                | 43,1 e           | 48,6 b             | 52,3 a |
| $^{\mathrm{A}}2^{\mathrm{F}}1$                                  | 53 <b>,</b> 7 a               | 50,6 bc               | 43,3 d           | 49,1 c             | 51,2 b |
| $^{\mathrm{A}}2^{\mathrm{F}}2$                                  | 51,9 a                        | 49,4 b                | 42,4 d           | 47 <b>,</b> 2 c    | 51,8 a |

<sup>\*</sup> As médias seguidas da mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, per lo teste de Tukey.

#### 4.3.2. Rendimento depurado em celulose

Os valores relativos a rendimento depurado, expressos em porcentagem, assim como suas análises estatísticas, apare cem nos Quadros 7 a 10.

O desdobramento da interação tripla (Quadro 9), permitiu as seguintes observações:

- a) A forma dos cavacos exercia marcante influência sobre o rendimento depurado, independente dos níveis de álcaliativo e fator H.
  - b) O álcali ativo apresentava efeito significativo (P<0,01) dentro de várias combinações de fator H e forma de cavacos, a saber: para os mini-cavacos, independente do fator H; para a serragem fina, ao fator H de 450; para as fitas de madeira, ao fator H de 450 e para os cavacos convencionais, ao fator H de 900.
- c) O fator H mostrava efeito significativo nas seguintes situações: para a serragem fina, ao álcali ativo de 13% (P < 0,01); para as fitas de madeira, ao álcali ativo de 13% (P < 0,05); para os cavacos convencionais, ao álcali ativo de 15% (P < 0,01) e para os mini-cavacos, ao álcali ativo de 15% (P < 0,05).

No Quadro 10, é possível se verificar, que da mesma forma que para o rendimento bruto, os menores valores para rendimento depurado foram constatados para os cavacos na forma de serragem. A serragem fina mostrou os piores resulta dos, enquanto a serragem grossa mostrava valores melhores, comparativamente à fina, mas ainda baixos, em relação aos de mais tratamentos.

Os melhores rendimentos depurados em celulose foram obtidos para os cavacos na forma de fitas. Isso se deve ao reduzido teor de rejeitos do material. Essa característica

pode ser considerada um ponto altamente favorável aos cavacos produzidos em forma de fitas.

Outro tipo de cavacos com excelentes resultados para rendimentos depurados foram os mini-cavacos. Em média, seus resultados foram comparáveis aos obtidos para as fitas.

Tanto fitas como mini-cavacos mostraram-se superiores aos cavacos convencionais, no que diz respeito a rendimentos depurados.

Em uma análise geral dos resultados, pode-se dizer que os materiais finamente divididos, como as serragens, sofrem maior degradação e remoção de carboidratos, ocorrendo perdas de rendimento. Os materiais de espessura intermediária, como fitas e mini-cavacos (espessuras entre 0,5 a 2 mm), resultaram em polpas de maiores rendimentos depurados, por não apre sentarem praticamente rejeitos. Essa faixa de espessura deve-se constituir na mais recomendável, quando se desejar maiores rendimentos depurados em celulose. HARTIER e ONISKO (1962) e COLOMBO et alii (1964), em cozimentos com Pinus pe-lo processo kraft, relataram melhores resultados para rendimento em celulose, a espessuras de cavacos próximas a 3 mm, o que é apenas ligeiramente superior aos valores ideais encontrados nesse estudo.

Por outro lado, as melhores condições de cozimento para se obter maiores rendimentos depurados ocorriam nos tratamentos mais suaves para álcali ativo (13%) e fator H (450), para todos os tipos de cavacos.

CTATRO 7 - Rendimento depurado das celuloses (%)

| fleali       |         |             |                |                       |        |  |        |                 |           | Fo     | Forma de Cavacos | Cavac   | 80    |      |        |                  |      |      |           |                  |      |
|--------------|---------|-------------|----------------|-----------------------|--------|--|--------|-----------------|-----------|--------|------------------|---------|-------|------|--------|------------------|------|------|-----------|------------------|------|
| Ativo<br>(A) |         | Cavac       | ) 505          | Cavacos Convencionais | ionais |  | Mini-c | Mini-cavacos    | <br> <br> | ι<br>υ | Serragem Fina    | a Fin   | et et | Se   | ггадеш | Serragem Grossa  | . 88 |      | Fi        | Fitas            |      |
|              | Pator H | Rc          | petiçî         | Repetição/ média      | lia    | Re   | petiçã | Repetição/média | ia        | Re     | Repetição/ média | o/ méd: | fa.   | Re   | petiçã | Repetição/ média | ia   | Re   | petiçã    | Repetição/ média | 13   |
|              | (F)     | <b>5</b> .⊓ | 29             | 39                    | ı×     | <b>\$</b> ₹  | 23     | 1s 2s 3s X      | l⊭        | 1.8    | 18 29 39 X       | 38      | l×    | 1.0  | 29     | 1* 29 39 X       | l⋈   | 13   | <b>\$</b> | 18 24 34         | lн   |
| ~            | 450     | 51,4        | 51,1           | 51,4 51,1 51,5        | 51,3   | 51,3 53,2 54,1 53,0 53,4 45,1 44,1 46,5 45,2 47,4 49,1 48,2 48,2 53,3 53,8 54,1 53,7 | 54,1   | 53,0            | 53,4      | 45,1   | 44,1             | 46,5    | 45,2  | 47,4 | 49,1   | 48,2             | 48,2 | 53,3 | 53,8      | 54,1             | 53,7 |
| ì            | 006     | 50,1        | 50,1 51,1 51,5 |                       | 6,03   | 50,9 52,4 53,1 53,1 52,9 41,9 42,2 42,7 42,3 48,1 47,3 48,6 48,0 50,9 53,2 52,9 52,3 | 53,1   | 53,1            | 52,9      | 41,9   | 42,2             | 42,7    | 42,3  | 48,1 | 47,3   | 48,6             | 48,0 | 50,9 | 53,2      | 52,9             | 52,3 |
| ب<br>ب       | 450     | 50,4        | 50,8           | 50,8 49,8             | 50,3   | 50,3 51,3 50,3 50,2 50,6 43,8 44,1 42,1 43,3 46,6 48,1 47,6 47,4 51,2 51,2 51,1      | 50,3   | 50,2            | 50,6      | 43,8   | 44,1             | 42,1    | 43,3  | 46,6 | 48,1   | 47,6             | 47,4 | 51,2 | 51,2      | 51,1             | 51,2 |
| ì            | 006     | 48,1        | 48,1 49,1 47,1 |                       | 48,1   | 8,1 49,7 49,0 49,6 49,4 42,4 42,4 42,4 42,4 46,8 47,4 47,2 47,1                      | 49,0   | 49,6            | 49,4      | 45,4   | 42,4             | 42,4    | 42,4  | 46,8 | 47,4   | 47,2             | 47,1 | 52,5 | 51,7      | 52,5 51,7 51,1   | 51,8 |

QUADRO 8 - Análise da variância para rendimento depurado

| Fonte de Variação    | GL | Quadrados Médios |
|----------------------|----|------------------|
| Forma de cavacos (C) | 4  | 157,8900**       |
| Fator H (F)          | l  | 14,0261**        |
| Alcali ativo (A)     | 1  | 40,9197**        |
| Interação CxF        | 4  | 1,4365*          |
| Interação CxA        | 4  | 2,6543**         |
| Interação Fx A       | 1  | 0,3635           |
| Interação CxAxF      | 4  | 2,0649**         |
| Erro                 | 40 | 0,4819           |
| C.V. = 1,42%         |    |                  |

Significativo, ao nível de 1% de probabilidade. Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 9 - Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F) sobre o rendimento depurado, de acordo com o desdobramento da interação tripla
CxAxF

| Fonte | de         | Var       | iação      |   | GL | Quadrados Médios               |
|-------|------------|-----------|------------|---|----|--------------------------------|
| Forma | đe         | cava      | acos       | (C)/A <sub>1</sub> F <sub>1</sub>       | 4  | 39,4267**                      |
| 11    | 11         |           | it.        | " /A <sub>1</sub> F <sub>2</sub>        | 4  | 56 <b>,</b> 5940 <sup>**</sup> |
| 11    | **         | ı         | i i        | "/A <sub>2</sub> F <sub>1</sub>         | 4  | 31,8200**                      |
| ff    | <b>1</b> • | 1         | 11         | "/A <sub>2</sub> F <sub>2</sub>         | 4  | 36,1911**                      |
| Alcal | i a        | tivo      | (A)        | /F <sub>1</sub> C <sub>1</sub>          | 1  | 1,5103                         |
| 11    |            | 11        | H          | /F <sub>1</sub> C <sub>2</sub>          | 1  | 11,9576**                      |
| 11    |            | H         | Ħ          | /F <sub>1</sub> C <sub>3</sub>          | 1  | 5 <b>,</b> 1708**              |
| 17    |            | 11        | 11         | $/\mathbb{F}_{1}^{2}\mathbb{C}_{4}^{3}$ | 1  | 0,9761                         |
| 11    |            | th        | tt         | /F <sub>1</sub> 0 <sub>5</sub>          | 1  | 9 <b>,</b> 7283**              |
| 11    |            | Ħ         | 11         | /F <sub>2</sub> C <sub>1</sub>          | 1  | 11,7321**                      |
| 11    |            | 11        | £ <b>†</b> | /F <sub>2</sub> C <sub>2</sub>          | 1  | 17,5791**                      |
| 11    |            | 11        | ? \$       | /F <sub>2</sub> C <sub>3</sub>          | 1  | 0,0154                         |
| 11    |            | 11        | 71         | /F <sub>2</sub> C <sub>4</sub>          | 1  | 1,0171                         |
| H     |            | 11        | 11         | /F <sub>2</sub> C <sub>5</sub>          | ı  | 0,4374                         |
| Fator | Η          | (F)       |            | /A <sub>1</sub> C <sub>1</sub>          | 1  | 0,2820                         |
| 7₹    | **         | †I        |            | /A <sub>1</sub> C <sub>2</sub>          | 1  | 0,4649                         |
| 11    | 11         | 11        |            | $/A_1C_3$                               | 1  | 13,0243**                      |
| 11    | 17         | 79        |            | /A <sub>7</sub> C <sub>4</sub>          | 1  | 0,1016                         |
| 11    | 11         | 71        |            | /A <sub>1</sub> C <sub>5</sub>          | 1  | 3,0112*                        |
| II    | 11         | 11        |            | /A <sub>2</sub> C <sub>1</sub>          | 1  | 7 <b>,</b> 4370**              |
| 11    | 11         | 11        |            | /A <sub>2</sub> C <sub>2</sub>          | 1  | 2,0078*                        |
| 11    | 11         | T1        |            | /A <sub>2</sub> c <sub>3</sub>          | 1  | 1,4217                         |
| 11    | 11         | <b>f1</b> |            | /A <sub>2</sub> C <sub>4</sub>          | 1  | 0,1156                         |
| 11    | H          | tt        |            | /A <sub>2</sub> C <sub>5</sub>          | 1  | 0,5225                         |
| Erro  |            |           |            |   | 40 | 0,4819                         |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 10 - Efeito de forma de cavacos (C), dentro das combinações entre os níveis de álcali ativo (A) e fator H (F), sobre o rendimento depurado das celuloses

| Alcali                        |                               | Fo                    | rma de Cav       | acos               |         |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|---------|
| ativo (A) Fator H (F)         | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cava-<br>cos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas   |
| $^{\mathrm{A_1F_1}}$          | 51,3 b*                       | 53,4 a                | 45,2 d           | 48,2 c             | 53,7 a  |
| $^{A}_{1}F_{2}$               | 50 <b>,</b> 9 b               | 52 <b>,</b> 9 a       | 42,3 d           | 47,9 c             | 52,3 ab |
| $^{	extsf{A}}2^{	extsf{F}}1$  | 50,3 a                        | 50,6 a                | 43,3 c           | 47,4 b             | 51,2 a  |
| A <sub>2</sub> F <sub>2</sub> | 48,1 bc                       | 49 <b>,</b> 4 b       | 42,4 d           | 47,1 c             | 51,8 a  |

<sup>\*</sup> As médias seguidas da mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, per lo teste de Tukey.

#### 4.3.3. Número kappa das celuloses

Os valores relativos a número kappa, bem como suas análises estatísticas, aparecem nos Quadros 11 a 14.

A análise da variância para número kappa está apresentada no Quadro 12. Essa análise mostrou efeito significativo (P < 0,01) para todos os fatores analisados, ou seja, forma de cavacos, álcali ativo e fator H. Igualmente, todas as interações duplas e a tripla foram significativas (P < 0,01).

O desdobramento da interação tripla (Quadro 13) mostrou, que tanto a forma dos cavacos, como o fator H e o álca li ativo apresentavam efeito significativo (P < 0,01), quando cada um variava dentro de níveic pré-fixados dos outros dois. Apenas duas situações não mostraram significância: quando se variava o álcali ativo, dentro dos níveis fixos de 450 e de 900 de fator H, para as celuloses de fitas de madeira.

Verificou-se no Quadro 14, que o grau de deslignifica ção, expresso pelo número kappa, variou consideravelmente en tre os tratamentos. Os maiores números kappa foram observados para as condições mais suaves de cozimento, ou seja, 13% de álcali ativo e 450 de fator H. Por outro lado, os menores números kappa foram alcançados nas condições mais drásticas de cozimento, no caso, 15% de álcali ativo e 900 de fator H.

Dentre os cinco tipos de cavacos, as fitas foram as que mostraram maior e surpreendente facilidade de serem deslignificadas, sem contudo perderem rendimento, conforme ates taram os resultados anteriores. As celuloses de serragens foram os materiais de maiores números kappa, indicando, que apesar de mostrarem baixos rendimentos, o teor de lignina aim da se apresentava alto. O fenômeno deve-se associar ao consumo exagerado de álcali em reações com carboidratos, diminuim do a disponibilidade de álcali para a deslignificação. É mes

mo possível, que pela falta de álcali, tenha ocorrido re-precipitação de lignina nos cozimentos das serragens, já que a cor escura das celuloses permitiam essa suposição. Os maiores valores de número kappa para as celuloses de serragem grossa concordam com os resultados relatados por BUBLITZ et alii (1975), quando estudaram a qualidade da celulose de serragem de "douglas-fir" pelo processo kraft.

As celuloses obtidas de cavacos convencionais e de mini-cavacos mostravam valores intermediários entre as celuloses de serragens e de fitas. Os mini-cavacos resultaram, em média, em celuloses com número kappa ligeiramente inferiores aos obtidos nas celuloses de cavacos convencionais.

QUADRO 11 - Número kappa das celuloses

|                  |                       |                                 |                       |   |  | _  |  |
|------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---|--|--|--|
|                  |                       | 18                              | H                     | 14,8  | 12,8   | 15,9   | 12,7   |
|                  | 83                    | o/ ned                          | -                     | 15,1  | 13,0   | 15,5   | 12,8   |
|                  | Fitas                 | Repetição/média                 | 58                    | 14,6  | 13,1   | 15,3   | 12,6   |
|                  |                       | Re                              | 14 24 34              | 14,7  | 12,4   | 17,0   | 12,6   |
|                  | 38                    | ia                              |                       | 47,9  | 36,2   | 41,5   | 25,2   |
|                  | Gros                  | o/méd                           | 34                    | 47,1  | 35,6   | 40,7   | 25,3   |
|                  | Serragem Grossa       | Repetição/média                 | 1s 2s 3s X 1s 2s 3s X | 41,9 31,5 28,4 31,9 30,6 37,1 37,1 37,1 46,9 49,7 47,1 47,9 14,7 14,6 15,1 14,8 | 26,0 22,2 22;2 22,9 22,4 47,6 46,6 46,5 46,9 36,7 36,4 35,6 36,2 12,4 13,1 13,0 12,8 | 23,6 23,7 24,4 24,2 24,1 32,8 32,3 33,0 32,7 42,2 41,6 40,7 41,5 17,0 15,3 15,5 15,9 | 21,1 17,6 18,4 17,6 17,9 28,1 27,4 27,4 27,6 24,4 25,9 25,3 25,2 12,6 12,6 12,8 12,7 |
|                  | Se                    | Пе                              | 10                    | 46,9  | 36,7   | 42,2   | 24,4   |
| 98               | ď                     | 1a                              | ı×                    | 37,1  | 46,9   | 32,7   | 21,6   |
| Cavac            | n Fir                 | o/méd                           | 38                    | 37,1  | 46,5   | 33,0   | 27,4   |
| Forms de Cavacos | Serragem Fina         | Repetição/média                 | 29                    | 37,1  | 46,6   | 32,3   | 27,4   |
| Fo               | ຜ                     | <u></u>                         | La                    | 37,1  | 47,6   | 32,8   | 28,1   |
|                  |                       | 1a                              | ı×                    | 30,6  | 22,4   | 24,1   | 17,9   |
|                  | Mini-cavacos          | Mini-cavacos<br>Repetição/média | å.                    | 31,9  | 22,9   | 24,2   | 17,6   |
|                  | Mini                  | pet1çã                          | 18 29 39 X            | 28,4  | 25,2   | 24,4   | 18,4   |
|                  |                       | - PE                            | =                     | 31,5  | 22,2   | 23,7   | 17,6   |
|                  | onale                 | 1a                              | IЖ                    | 41,9  | 26,0   | 23,6   | 21,1   |
|                  | nvenci                | o/ méd                          |                       |   | 25,8   |  | 21,0   |
|                  | Cavacos Convencionais | Repetição/média                 | 23                    | 41,9 41,4 42,4  | 26,0 26,3 25,8   | 22,9 24,3 23,7   | 21,1 21,2 21,0   |
|                  | Cavac                 | Re                              | 1:                    | 41,9  | 26,0   | 22,9   | 21,12  |
|                  |                       | Fator H                         | (F)                   | 450   | 006  | 450  | 006  |
| Alcali           | Ativo                 | Ì                               |                       |   | 13   |  | 15   |

QUADRO 12 - Análise da variância para número kappa

| GL | Quadrados Médios           |
|----|----------------------------|
| 4  | 1115,0500**                |
| 1  | 561 <b>,</b> 8190**        |
| 1  | 830,4500**                 |
| 4  | 117,6780**                 |
| 4  | 78 <b>,</b> 3763**         |
| 1  | 4,7151**                   |
| 4  | 78,7158**                  |
| 40 | 0,5305                     |
|    |                            |
|    | 4<br>1<br>1<br>4<br>4<br>1 |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 13 - Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F) sobre o múmero kappa, de acordo com o desdobramento da interação tripla CxAxF

| Fonte  | đe          | Var  | iação | )                                 | ${	t GL}$ | Quadrados Médios                |
|--------|-------------|------|-------|-----------------------------------|-----------|---------------------------------|
| Forma  | đe          | cav  | acos  | (C)/A <sub>7</sub> F <sub>7</sub> | 4         | 482 <b>,</b> 9675**             |
| 11     | ff          |      | 11    | " /A <sub>7</sub> F <sub>2</sub>  | 4         | 514 <b>,</b> 5225 <sup>**</sup> |
| 11     | 11          |      | 11    | "/A <sub>2</sub> F <sub>1</sub>   | 4         | 286 <b>,</b> 7600**             |
| n      | 11          |      | Ħ     | " /A <sub>2</sub> F <sub>2</sub>  | 4         | 105,5650**                      |
| Alcal: | i a         | tivo | (A)   | /F <sub>3</sub> C <sub>3</sub>    | 1         | 499 <b>,</b> 2333**             |
| II     |             | 11   | \$1   | /F <sub>1</sub> C <sub>2</sub>    | 1         | 63 <b>,</b> 1833**              |
| 11     |             | 11   | 11    | /F <sub>1</sub> C <sub>3</sub>    | 1         | 28,8210 <sup>**</sup>           |
| II     |             | Ħ    | 11    | /F <sub>1</sub> C <sub>4</sub>    | 1         | 61,7603**                       |
| 11     |             | 17   | tt    | /F <sub>1</sub> C <sub>5</sub>    | 1         | 1,9263                          |
| 11     |             | H    | tr    | /F <sub>2</sub> C <sub>1</sub>    | 1         | 36 <b>,</b> 4080**              |
| 11     |             | 11   | it    | /F <sub>2</sub> C <sub>2</sub>    | 1         | 31 <b>,</b> 4646**              |
| 11     |             | Ħ    | l†    | /F <sub>2</sub> C <sub>3</sub>    | 1         | 557 <b>,</b> 7710**             |
| 11     |             | Ħ    | 11    | $/F_2C_4$                         | 1         | 182 <b>,</b> 9333**             |
| 11     |             | Ħ    | 11    | /F <sub>2</sub> C <sub>5</sub>    | l         | 0,0446                          |
| Fator  | H           | (F)  |       | /A <sub>1</sub> C <sub>1</sub>    | 1         | 377,3094**                      |
| 11     | 11          | 11   |       | /A <sub>1</sub> C <sub>2</sub>    | 1         | 99,8784**                       |
| 11     | H           | 11   |       | $/A_1C_3$                         | 1         | 145 <b>,</b> 1400**             |
| 11     | 11          | 11   |       | $/A_1^C_4$                        | 1         | 203,7005**                      |
| 11     | 11          | 77   |       | /A <sub>1</sub> C <sub>5</sub>    | 1         | 5 <b>,</b> 7624**               |
| 11     | 11          | īŧ   |       | /A <sub>2</sub> C <sub>1</sub>    | 1         | 9 <b>,</b> 7028 <b>**</b>       |
| #1     | 11          | 11   |       | $/A_2C_2$                         | 1         | 58 <b>,</b> 5937**              |
| 11     | 11          | It   |       | /A <sub>2</sub> c <sub>3</sub>    | 1         | 38 <b>,</b> 4560**              |
| 11     | 11          | Ħ    |       | /A <sub>2</sub> C <sub>4</sub>    | 1         | 397 <b>,</b> 5576**             |
| 11     | 11          | It   |       | /A <sub>2</sub> C <sub>5</sub>    | 1         | 16,0066**                       |
| Erro   | <del></del> |      |       |                                   | 40        | 0,5305                          |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 14 - Efeito de forma de cavacos (C), dentro das combinações entre os níveis de álcali ativo (A) e fator H (F), sobre o número kappa das celuloses

| Alcali                               |                               | Fo                    | rma de Cav       | acos               |        |
|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|--------|
| Ativo (A) Fator H (F)                | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cava-<br>cos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas  |
| A <sub>1</sub> F <sub>1</sub>        | 41,9 b*                       | 30,6 d                | 37 <b>,</b> 1 c  | 47 <b>,</b> 9 a    | 14,8 e |
| $^{\mathrm{A}}_{1}^{\mathrm{F}}_{2}$ | 26 <b>,</b> 0 c               | 22,4 d                | 46,9 a           | 36,2 b             | 12,8 e |
| $^{\mathrm{A}}$ 2 $^{\mathrm{F}}$ 1  | 23,6 с                        | 24 <b>,</b> 1 c       | 32,7 b           | 41,5 a             | 15,9 d |
| $^{\mathrm{A}}2^{\mathrm{F}}2$       | 21,1 c                        | 17 <b>,</b> 9 đ       | 27,6 a           | 25 <b>,</b> 2 b    | 12,7 e |

<sup>\*</sup> As médias seguidas da mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, per lo teste de Tukey.

#### 4.3.4. Viscosidade das celuloses

Os valores relativos à viscosidade das celuloses, expressos em centipoises, bem como suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 15 a 18.

A análise da variância para viscosidade das celuloses está apresentada no Quadro 16. Esta mostrou efeito significativo (P < 0.01) para forma de cavacos, fator H e interações duplas e triplas.

O desdobramento da interação tripla, (Quadro 17), per mitiu as seguintes observações:

- a) A forma dos cavacos exercia significativa influência sobre a viscosidade das celuloses, independente dos níveis de álcali ativo e de fator H.
- b) Na maioria das situações, o álcali ativo mostrou efeito significativo sobre a viscosidade das celuloses, mantidos constantes os outros dois fatores (fator H e forma de cavacos). Apenas nas seguintes situações, a variação do álcali ativo não resultou em efeitos significativos na viscosidade das celuloses: quando o fator H era fixado em 450 para serragem fina; quando o fator H era fixado em 900 para serragem gem grossa.
- c) Na maioria dos casos, o fator H mostrou efeito significativo sobre a viscosidade das celuloses, mantidos constantes os outros dois fatores (álcali ativo e forma de cavacos). Apenas nos seguintes casos, a variação do fator H não resultou em efeitos significativos na viscosidade das celuloses: quando o álcali ativo era fixado em 13% para serragem fina; quando o álcali ativo era fixado em 15% para cavacos convencionais.

No Quadro 18 é possível se verificar, que a viscosidade das celuloses variava bastante entre os diversos trata-

mentos. Os resultados ficaram entretanto ligeiramente prejudicados em sua interpretação, devido às baixas viscosidades obtidas para as celuloses com altos números kappa. Isso se deve às dificuldades de se dissolver essas celuloses, ricas em lignina, na solução de etileno diamina cúprica.

As celuloses de serragem, mais ricas em lignina, mostraram as viscosidades mais baixas, porém torna-se difícil dizer se estas baixas viscosidades se devem à interferência da lignina ou a uma maior degradação dos carboidratos. Talvez a causa seja uma combinação desses dois fatores.

Cavacos em forma de fitas foram os que melhores resultados apresentaram para viscosidade das celuloses correspondentes. Os resultados até agora obtidos para esse material vêm demonstrando que a sua deslignificação é seletiva e eficaz, não acarretando perdas de rendimento, nem degradação de carboidratos.

Os cavacos convencionais e os mini-cavacos apresentaram comportamento praticamente semelhante, exceto para as
condições mais suaves de cozimento. Nessas condições, os cavacos convencionais eram de mais difícil deslignificação, mos
trando suas celuloses, maiores teores de lignina residual.
Esta interferia, negativamente sobre o teste de viscosidade
da celulose.

QUADRO 15 - Viscosidade das celuloses (cP)

| Alcali       |                | <br> <br> <br> |                       | <br> <br> |       |   |              |                 |       | Fr   | Forms de Cavacos | Cavac  | 90;  |      |                 |        |      |      |                 |        |      |
|--------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------|-------|---|--------------|-----------------|-------|------|------------------|--------|------|------|-----------------|--------|------|------|-----------------|--------|------|
| At170<br>(A) |                | Cavac          | Cavacos Convencionais | nvenci    | onaie |   | Mini-cavacos | avacos          |       | ž    | Serragem Fina    | r Fina |      | Sei  | Serragem Grossa | Gross  | 8    | į    | Fitas           | 3.8    |      |
|              | . 1            | Re             | Repetição/ médi       | o/ méd    | 18    | Re  | petição      | Repetição/média | la la | Rej  | Repetição/ média | / medi | E    | Rej  | Repetição/média | / médi | 8    | Rej  | Repetição/média | / médi | . eq |
|              | Fator H<br>(F) | 1.9            | 29                    | 38        | iĸ    | 1 1   | 28           | 1s 20 3s X      | l#    | 1.8  | 14 28 39 X       | •      | IН   | 7    | 18 28 38        | 3.8    | :×   | - T  | 10 20 30        | *      | iĸ   |
|              | 450            | 15,4           | 15,4 14,2 13,0        | 13,0      | 14,2  | 14,2 22,9 19,6 17,6 20,0 24,2 25,1 25,3 24,9 11,3 12,7 13,7 12,6 52,6 52,5 53,2 52,8  | 19,6         | 17,6            | 20,0  | 24,2 | 25,1             | 25,3   | 24,9 | 11,3 | 12,7            | 13,7   | 12,6 | 52,6 | 52,5            | 53,2   | 52,8 |
| <b>T</b>     | 006            | 41,6           | 41,6 39,6 39,1        | 39,1      | 40,1  | 40,1 37,8 36,6 37,2 37,2 24,2 22,9 21,9 23,0 34,9 34,8 34,6 34,8 34,9 33,3 39,0       | 36,6         | 37,2            | 37,2  | 24,2 | 85,9             | 21,9   | 23,0 | 34,9 | 34,8            | 34,6   | 34,8 | 34,9 | 33,3            | 39,0   | 35,7 |
| ;            | 450            | 30,1           | 30,1 30,4 31,1        | 31,1      | 30,5  | 30,5 34,1 37,5 41,2 37,6 26,5 24,6 25,9 25,7 8,1 12,6 8,0 9,6 41,4 44,2 42,6 42,7     | 37,5         | 41,2            | 37,6  | 26,5 | 24,6             | 25,9   | 25,7 | 8,1  | 12,6            | 8,0    | 9,6  | 41,4 | 44,2            | 42,6   | 42,7 |
| 5            | 900            | 34,5           | 34,5 30,5 32,3        | 32,3      | 32,4  | 32,4 31,7 32,3 29,6 31,2 30,5 33,3. 30,0 31,3 33,9 32,2 32,0 32,7 19,2 22,4 22,6 21,4 | 32,3         | 29,6            | 31,2  | 30,5 | 33,3.            | 30,0   | 31,3 | 33,9 | 32,2            | 32,0   | 32,7 | 19,2 | 22,4            | 22,6   | 21,4 |

QUADRO 16 - Análise da variância para viscosidade

| Fonte de Variação    | GL | Quadrados Médios    |
|----------------------|----|---------------------|
| Forma de cavacos (C) | 4  | 419,0310**          |
| Fator H (F)          | 1  | 365,7080**          |
| Alcali ativo (A)     | 1  | 0,0030              |
| Interação Cx F       | 4  | 741 <b>,</b> 4580** |
| Interação Cx A       | 4  | 169,7130**          |
| Interação FxA        | 1  | 280 <b>,</b> 4980** |
| Interação CxAxF      | 4  | 155 <b>,</b> 6740** |
| Erro                 | 40 | 2,9639              |
| C.V. = 5,83%         |    |                     |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 17 - Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F) sobre a viscosidade, de acordo com o desdobramento da interação tripla Cx Ax F

| Fonte     | đe            | Variação    |                                   | GL | Quadrados Médios            |
|-----------|---------------|-------------|-----------------------------------|----|-----------------------------|
| Forma     | đe            | cavacos     | (C)/A <sub>7</sub> F <sub>7</sub> | 4  | 799,9074**                  |
| 11        | 11            | 11          | "/A <sub>1</sub> F <sub>2</sub>   | 4  | 128,3424**                  |
| 17        | II            | 11          | " /A <sub>2</sub> F <sub>1</sub>  | 4  | 489 <b>,</b> 5324 <b>**</b> |
| †1        | 11            | F 7         | " /A <sub>2</sub> F <sub>2</sub>  | 4  | 68,0971**                   |
| Alcali    | . at:         | ivo (A)     | /F <sub>7</sub> C <sub>7</sub>    | 1  | 398,8613**                  |
| 11        | į             | lt ti       | /F <sub>1</sub> C <sub>2</sub>    | 1  | 463 <b>,</b> 2333 <b>**</b> |
| 11        | 1             | t ti        | /F <sub>1</sub> C <sub>3</sub>    | 1  | 0,9680                      |
| 11        | Į.            | 11          | /F <sub>1</sub> C <sub>4</sub>    | 1  | 13,1726*                    |
| Ħ         | 1             | t H         | /F <sub>1</sub> C <sub>5</sub>    | 1  | 150,8010**                  |
| f†        | Į.            | t H         | /F <sub>2</sub> C <sub>1</sub>    | 1  | 88,2436**                   |
| 11        | t             | t n         | /F <sub>2</sub> C <sub>2</sub>    | 1. | 53,6410**                   |
| 11        | ı             | 1 11        | /F <sub>2</sub> 0 <sub>3</sub>    | 1. | 101,5177**                  |
| 11        | 1             | 1 11        | /F <sub>2</sub> C <sub>4</sub>    | 1. | 5,0241                      |
| 11        | ı             | <b>i</b>    | /F <sub>2</sub> c <sub>5</sub>    | 1  | 306,5920**                  |
| Fator     | н (1          | ŗ)          | $/A_{1}C_{1}$                     | 1  | 1004,1440**                 |
| Ħ         | 11 1          | 1           | /A <sub>1</sub> C <sub>2</sub>    | 1  | 440,3267**                  |
| 11        | 17 1          | •           | $/A_1C_3$                         | 1  | 5,0057                      |
| 1)        | 11 1          | •           | /A <sub>7</sub> C <sub>4</sub>    | 1  | 737,9286**                  |
| <b>F1</b> | H 1           | 1           | /A <sub>1</sub> c <sub>5</sub>    | 1  | 436,0541**                  |
| II        | !! 1          | ı           | /A <sub>2</sub> C <sub>1</sub>    | 1  | 5 <b>,</b> 3967             |
| 11        | 7 <b>9</b> 91 | ,           | /A <sub>2</sub> C <sub>2</sub>    | 1  | 61,8246**                   |
| 11        | 11 11         | •           | /A <sub>2</sub> c <sub>3</sub>    | 1  | 46 <b>,</b> 9840**          |
| 11        | <b>11</b> 11  | !           | /A <sub>2</sub> C <sub>4</sub>    | 1  | 815,2673**                  |
| 11        | îr (1         | ı           | $/A_2^2C_5^{\dagger}$             | 1  | 681,8140**                  |
| Erro      | ··· ···       | <del></del> |                                   | 40 | 2 <b>,</b> 9639             |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 18 - Efcito de forma de cavacos (C), dentro das combinações entre os níveis de álcali ativo (A) e fator H (F), sobre a viscosidade das celuloses

| Alcali<br>Ativo (A)                 |                               | Forma de Cavacos      |                  |                    |        |  |  |  |  |  |
|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|--------|--|--|--|--|--|
| Fator H (F)                         | Cavacos<br>conven—<br>cionais | Mini-<br>cava-<br>cos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas  |  |  |  |  |  |
| $A_1F_1$                            | 14,2 d*                       | 20 <b>,</b> 0 e       | 24,9 b           | 12 <b>,</b> 6 đ    | 52,8 a |  |  |  |  |  |
| $^{\mathrm{A}}$ 1 $^{\mathrm{F}}$ 2 | 40,1 a                        | 37,2 ab               | 23,0 c           | 34,8 b             | 35,7 b |  |  |  |  |  |
| $^{\mathrm{A}}$ 2 $^{\mathrm{F}}$ 1 | 30,5 c                        | 37,6 b                | 25,7 đ           | 9,6 e              | 42,7 a |  |  |  |  |  |
| $^{\mathrm{A}}2^{\mathrm{F}}2$      | 32,4 a                        | 31,2 a                | 31,3 a           | 32,7 a             | 21,4 b |  |  |  |  |  |

<sup>\*</sup> As médias seguidas da mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

# 4.4. Resultados para os ensaios físicomecânicos das celuloses

Nos ensaios físico-mecânicos das celuloses, obtiveram-se os resultados para resistências à tração, ao estouro e ao rasgo, esticamento, densidade aparente e tempo de refino, que estão apresentados e discutidos nesse item.

As propriedades em estudo foram todas expressas a três níveis pré-estabelecidos de refino: 25°SR, 40°SR e 55°SR. Esses valores foram arbitrariamente escolhidos para as comparações por representarem: o início do refino (25°SR); um nível comumente utilizado na indústria papeleira (40°SR) e o final da refinação, onde a polpa desenvolveu todo seu potencial para ligação entre fibras (55°SR).

Devido à interdependência dos fatores em estudo, as <u>a</u> nálises da variância foram realizadas, optando-se pela fixa-ção do grau de refino.

## 4.4.1. Resistência à tração

Os valores relativos à resistência à tração, expressos pelo comprimento de auto-ruptura, em quilômetros, bem como suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 19 a 24.

A análise da variância para os valores de resistência à tração indicou que essa propriedade não foi significativamente afetada (P < 0.05) pela variação dos fatores álcali ativo e fator H. Por outro lado, os fatores grau Schopper Riegler e forma de cavacos mostraram efeito significativo (P < 0.01). A análise dos Quadros 22, 23 e 24 permitiu observar, que apenas as celuloses produzidas de serragem fina mos traram resistência à tração inferiores, comparativamente às

demais. Todas as outras formas de cavacos conduziram a celuloses com resistências à tração equivalente, aos três ní veis de refino pré-estabelecidos.

Apenas uma interação significativa (P < 0,05) foi detectada: ocorreu a 25°SR, para forma de cavacos x álcali ativo. O desdobramento dessa interação, mostrado no Quadro 21, indicou que, dentro de cada nível de álcali ativo, existia e feito significativo de forma de cavacos. Quando se variou o álcali ativo para cada forma de cavacos, notou-se um efeito significativo para álcali ativo dentro de mini-cavacos e den tro de serragem grossa. Isso significava, que as celuloses de serragem grossa, quando ensaiadas a 25°SR para resistência à tração, mostravam diminuição significativa dessa propriedade, pelo acréscimo do álcali ativo utilizado no cozimento e que, mini-cavacos apresentava comportamento inverso da serra gem grossa, constatando-se um ligeiro acréscimo para a resis tência à tração nas condições ensaiadas.

9,44

8,6

8,95

Repetição/ média 7,30 7,10 7,40 7,10 9,10 8,55 8,67 7,10 9,94 9,50 9,18 8,60 8,00 7,38 7,33 8,10 8,25 9,55 8,96 9,90 8,70 7,81 9,00 9,62 6,50 7,82 7,05 6,90 8,61 8,50 7,90 90.6 8,55 8,60 8,80 8,92 7,90 6,42 7,13 8,38 8,15 6,18 9,06 7,70 9,28 8,76 90.6 8,79 I۲ Repetição/média Serragem Grossa 8,30 6,50 8,60 6,50 8,05 8,60 8,50 8,90 9,45 8,60 7,88 9,28 7,40 7,30 0049 7,75 7,21 6,20 8,05 7,50 9,08 8,66 00,6 8,25 8,00 5,48 6,80 9,05 7,85 8,75 9,86 5,85 7,72 8,70 8,85 e rt 3,95 4,42 5,70 3,59 6,47 4,45 5,91 6,80 98\*9 6,53 7,16 7,84 ıĸ Repetição/média Forms de Cavacos 3,20 Serragem Fina 3,78 5,80 6,80 4,82 4,70 5,82 6,90 6,91 9,60 7,60 7,85 ā 3,66 3,50 3,70 5,80 5,42 4,15 6,01 6,50 7,02 5,90 7,61 2 5,00 3,50 4.75 5,50 7,20 4,50 5,90 7,00 6,65 8,00 8,08 å 6,40 7,06 19'9 7,56 7,76 8,54 2,96 7,97 8,91 9,54 8,97 8,67 l∺ Repetição/média 6,90 8,4 7,90 9,70 7,85 8,20 7,75 7,77 8,15 8,68 8,55 Mini-cavacos 3 6,10 8,10 8,30 5,91 6,45 7,30 8,60 09'6 7,68 9,08 9,15 8,42 (S 6,40 7,50 9,55 06,9 6,75 7,00 7,55 8,10 7,97 9,97 8,65 9 18 6,50 7,71 7,63 8,79 6,93 8,75 8,95 8,56 8,99 9,55 9,17 8,96 Cavacos Convencionais ı× Repetição/media 7,21 7,80 9,50 8,03 8,28 99,9 8,18 8,80 8,70 8,98 9,35 10,88 10,12 2,00 7,23 8,98 00,6 8,32 7,25 8,65 10,75 10,00 9,30 7,70 9,10 7,25 10,20 6,80 7,38 6,90 9,18 8,83 8,05 8,25 Alcali Ativo (A) 13 13 13 15 13 23 13 Fator H (F) 450 450 900 8 450 8 650 55 25 40

7,43

7,26

7,27

8,65

8,22

CHATRO 19 - Valores da reststência à tração das celuloses a 25, 40 e 55ºSR

QUADRO 20 - Análise da variância da recistência à tração das celuloses

| Font  | e de Variação         | ${\tt GL}$ | Quadrados Médios |
|-------|-----------------------|------------|------------------|
|       | Grau Schopper Riegler | 2          | 73,0734**        |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4          | 21,8458**        |
|       | Alcali ativo (A)      | 1          | 0,0564           |
| SR    | Fator H (F)           | 1          | 0,1622           |
| 2508  | Interação Cx A        | 4          | 1,6465*          |
| £ ()  | Interação Cx F        | 4          | 0,6199           |
|       | Interação AxF         | 1          | 0,0735           |
|       | Interação Cx Ax F     | 4          | 0,7580           |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4          | 11,9161**        |
|       | Alcali ativo (A)      | 1          | 0,0006           |
| ផ     | Fator H (F)           | 1          | 0,0248           |
| 40°SR | Interação Cx A        | 4          | 0,2606           |
| 4     | Interação CxF         | 4          | 0,8229           |
|       | Interação AxF         | 1          | 0,1560           |
|       | Interação Cx Ax F     | 4          | 0,1725           |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4          | 9,2445**         |
|       | Alcali ativo (A)      | 1          | 0,3360           |
| SR    | Fator H (F)           | 1          | 0,1297           |
| 550   | Interação Cx A        | 4          | 0,0712           |
|       | Interação CxF         | 4          | 0,7855           |
|       | Interação AxF         | 1          | 0,0843           |
|       | Interação Cx Ax F     | 4          | 0,4688           |
| Erro  | )                     | 120        | 0,4734           |
| C.V.  | = 8,94%               |            |                  |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 21 - Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo(A) sobre a resistência à tração, para 25 graus Schopper Riegler de acordo com o desdobramento da interação Cx A

| Fonte  | de Var | riação        | )                  | GL  | Quadrados Médios |
|--------|--------|---------------|--------------------|-----|------------------|
| Forma  | de car | acos,         | (C)/A <sub>7</sub> | 4   | 11,118200**      |
| Forma  | de cav | <i>7</i> ೩೦೦೮ | (C)/A <sub>2</sub> | 4   | 12,374200**      |
| Alcali | ativo  | (A)           | /c <sub>1</sub>    | 1   | 0,202800         |
| 11     | If     | 11            | /c <sub>2</sub>    | l   | 1,952100*        |
| 11     | 11     | (1            | /c <sub>3</sub>    | 1.  | 0,083300         |
| 11     | lT.    | 11            | /c <sub>4</sub>    | 1   | 4,404300**       |
| 11     | 11     | Ħ             | /c <sub>5</sub>    | 1.  | 0,000080         |
| Erro   |        |               |                    | 120 | 0,473400         |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 22 - Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo(A) sobre a resistência à tração, para 25 graus Schopper Riegler

| Alcali ativo |                               | For                   | ma de Cav        | acos               |        |
|--------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|--------|
|              | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cava-<br>cos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas  |
| 13           | 7,06 a*                       | 6,51 a                | 4,18 b           | 7,51 a             | 7,34 a |
| 15           | 7,32 a                        | 7,31 a                | 4,02 b           | 6,30 a             | 7,35 a |

<sup>\*</sup> As médias seguidas da mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, per lo teste de Tukey.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 23 - Efeito de forma de cavacos (C), sobre a resistên cia à tração para 40 graus Schopper Riegler

|                          | Forma            | de Cavacos       |                    |        |
|--------------------------|------------------|------------------|--------------------|--------|
| Cavacos<br>convencionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas  |
| 8,76 a*                  | 8,06 a           | 6,32 b           | 8,07 a             | 8,49 a |

<sup>\*</sup> As médias seguidas da mesma letra, não diferem estatistica mente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 24 - Efeito de forma de cavacos (C), sobre a resistên cia à tração para 55 graus Schopper Riegler

|                          | Forms            | de Cavacos       |                    |        |
|--------------------------|------------------|------------------|--------------------|--------|
| Cavacos<br>convencionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas  |
| 9,12 a*                  | 9,02 a           | 7,10 b           | 8,97 a             | 9,05 a |

<sup>\*</sup> As médias seguidas da mesma letra, não diferem estatistica mente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

#### 4.4.2. Resistência ao estouro

Os valores relativos à resistência ao estouro, expressos pelo fator de estouro, bem como suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 25 a 31.

A análise da variância para os valores de resistência ao estouro, mostrou que, da mesma forma que para a resistência à tração, não se detectaram influências significativas (P < 0,05) dos fatores álcali ativo e fator H. Já os fatores grau Schopper Riegler e forma de cavacos mostraram efeito significativo (P < 0,01). Foram encontradas interações duplas significativas (P < 0,05), aos níveis de refino de 40 e 55°SR, para os fatores forma de cavacos e álcali ativo.

A análise dos Quadros 27, 29 e 31 permitiu notar, que os melhores resultados para a resistência ao estouro ocorreram para as celuloses de cavacos convencionais e mini-cavacos, aos três níveis de refino considerados. As celuloses de fitas de madeira apresentaram essa resistência ligeiramente inferior às celuloses de cavacos convencionais e mini-cavacos e semelhante às celuloses de serragem grossa. Os piores resultados, em todas as situações, foram alcançados para as celuloses de serragem fina.

O desdobramento das interações duplas, forma de cavacos x álcali ativo nos níveis 40 e 55 SR, Quadros 28 e 30, respectivamente, possibilitou identificar o efeito significativo (P 0,01) de forma de cavacos dentro de cada nível de álcali ativo. Quando se variou o álcali ativo para cada forma de cavacos, notou-se que existia efeito significativo para álcali ativo, apenas dentro da forma de cavacos, serragem grossa e, cavacos convencionais. Para serragem grossa, o nível de significância variou entre 40 e 55 SR, sendo respectivamente, de 1% e 5%. Isto significava, que as celuloses de

serragem grossa, quando ensaiadas a  $40^{\circ}$ SR e  $55^{\circ}$ SR, para resistência ao estouro, mostravam diminuição significativa des sa propriedade, pelo aumento do álcali ativo do cozimento, Quadros 29 e 31, respectivamente. Por sua vez, cavacos convencionais ao nível de  $55^{\circ}$ SR, mostraram efeito significativo (P<0,05), quando se variou o álcali ativo. Para esses, um aumento desta variável acarretava um ligeiro acréscimo, na resistência ao estouro (Quadro 31).

Observou-se uma semelhança muito grande entre o comportamento dos resultados para as resistências à tração e ao estouro, em função dos fatores ensaiados. Isso sugere que ambas foram dependentes dos mesmos efeitos, no caso do presente experimento.

QUALRO 25 - Valores da resistência ao estouro das celuloses a 25, 40 e 55°SR

|             |                |          |              |              |                 |              |              |                  |              |              | For          | Forma de         | Саувсов      | 0            |              |              |                  |              |              |                 |              | . ]            |
|-------------|----------------|----------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|----------------|
|             | ;              | Alcali   | Cavacos      |              | Convencionals   | onale        |              | Liini-cavacos    | аувсов       |              | 38           | Serragem         | 1 Fina       |              | Ser          | Serragen     | Grossa           | 4            |              | Mtas            |              | 1              |
| <b>6</b> 23 | Fator H<br>(F) |          | Re           |              | Repetição/média | 13<br>13     | Re           | Repetição/ média | o/ méd       | fa           | Rei          | Repatição/ média | / méd1       | B            | Rep          | etição       | Repetição/ média |              | Яер          | Repetição/média | / med1       | e              |
|             |                |          | =            | 29           | 3.6             | lĸ           | 1.0          | 24               | •            | ı×           | 10           | 28               | =            | ı×           | <b>.</b>     | 24           | 3.8              | ĸ            | 11           | 2.              |              | ı <del>.</del> |
|             | 450            | 13 .     | 42,5         | 45,6         | 46,1            | 44,7<br>54,1 | 48,6         | 53,7<br>42,5     | 44,7         | 49,0         | 12,0         | 15,9<br>15,0     | 8,0<br>14,9  | 12,0<br>14,7 | 45,3<br>43,0 | 42,5<br>42,8 | 34,3<br>41,0     | 40,7<br>42,3 | 31,0         | 46,0            | 44,8<br>36,0 | 40,6           |
| 25          | <b>0</b> 06    | 13<br>15 | 44,9         | 41,5         | 45,0<br>50,1    | 43,8<br>49,9 | 42,6         | 46,4             | 49,2<br>50,8 | 46,1         | 15,0<br>23,0 | 18,0<br>24,9     | 31,8<br>16,1 | 21,6         | 35,7<br>39,0 | 32,0<br>29,5 | 59,0<br>31,2     | 42,2<br>33,2 | 41,0<br>38,0 | 32,0<br>45,1    | 56,0<br>36,6 | 43,0<br>39,9   |
|             | 450            | 13<br>15 | 58,0<br>58,6 | 63,9         | 61,0<br>39,3    | 60,6<br>63,5 | 61,9<br>67,0 | 67,0<br>52,0     | 57,0<br>65,0 | 62,0<br>61,3 | 7,73         | 33,3<br>31,0     | 30,1<br>32,5 | 30,4<br>30,4 | 56,9<br>55,2 | 49,3<br>50,5 | 64,8<br>52,2     | 60,3<br>52,6 | 58,8<br>55,6 | 55,0<br>57,8    | 59,2<br>54,1 | 57,7<br>55,8   |
| 40          | 006            | 13<br>15 | 58,9<br>61,6 | 56,7<br>67,5 | 57,3<br>69,1    | 57,6<br>66,1 | 58,3<br>58,3 | 70,7<br>60,4     | 65,3<br>58,6 | 64,8<br>59,1 | 32,5<br>37,0 | 25,0<br>37,0     | 41,0<br>30,0 | 32,8<br>34,7 | 59,1<br>51,2 | 54,0<br>49,6 | 69,3<br>53,0     | 60,8<br>51,3 | 53,8<br>53,8 | 57,0<br>52,1    | 66,0<br>56,0 | 58,9           |
|             | 450            | 13<br>15 | 57,7<br>77,4 | 72,0         | 68,0<br>57,0    | 65,9<br>70,5 | 70,5         | 70,6<br>70,2     | 72,0<br>65,6 | 71,0<br>70,9 | 37,3<br>37,0 | 41,5             | 43,9<br>38,0 | 40,9         | 63,8<br>59,6 | 64,8<br>58,8 | 73,0<br>62,5     | 67,2<br>60,3 | 62,9<br>61,0 | 61,2<br>63,9    | 63,5<br>56,5 | 62,5<br>60,5   |
| 53          | 606            | 13       | 60,0         | 62,3<br>73,0 | 62,3<br>75,0    | 61,5         | 68,4         | 73,7<br>66,2     | 75,0         | 72,4         | 38,0<br>45,0 | 31,0<br>45,0     | 46,0<br>36,0 | 38,3<br>42,0 | 67,8         | 64,0         | 72,9             | 68,2<br>61,0 | 56,4         | 61,5            | 71,3<br>58,5 | 63,1           |
|             |                |          |              |              |                 |              |              |                  |              |              | i            |                  |              |              |              |              |                  |              |              |                 |              |                |

QUADRO 26 - Análise da variância da resistência ao estouro das celuloses

| onte  | e de Variação         | GL  | Quadrados Médios         |
|-------|-----------------------|-----|--------------------------|
|       | Grau Schopper Riegler | 2   | 7365,3800**              |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4   | 1891,0300**              |
|       | Alcali ativo (A)      | 1   | 10,0449                  |
| ద     | Fator H (F)           | 1   | 0,1550                   |
| 25°SR | Interação CxA         | 4   | 56 <b>,</b> 199 <b>2</b> |
| Š     | Interação CxF         | 4   | 68,9886                  |
|       | Interação AxF         | 1   | 50,3254                  |
|       | Interação Cx Ax F     | 4   | 14,2222                  |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4   | 1850,2100**              |
|       | Alcali ativo (A)      | 1   | 44,4614                  |
| 40°SR | Fator H (F)           | 1   | 4,4011                   |
|       | Interação Cx A        | 4   | 85 <b>,</b> 0653*        |
|       | Interação Cx F        | 4   | 7,7077                   |
|       | Interação Ax F        | 1.  | 0,9754                   |
|       | Interação Cx Ax F     | 4   | 13,3283                  |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4   | 1754,8800**              |
|       | Alcali ativo (A)      | l   | 28,6350                  |
| SH    | Fator H (F)           | 1   | 5,9219                   |
| 50    | Interação C x A       | 4   | 88 <b>,</b> 8856*        |
| רט    | Interação Cx F        | 4   | 5,8807                   |
|       | Interação Ax F        | 1   | 0,4949                   |
|       | Interação Cx Ax F     | 4   | 24,2952                  |
| Err   | 0                     | 120 | 29,6285                  |
| c.v   | · = 10,68%            |     |                          |

Significativo, ao nível de 1% de probabilidade. Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 27 - Efeito de forma de cavacos (C), sobre a resistên cia ao estouro, para 25 graus Schopper Riegler

|                          | Forms            | de Cavacos       |                    |        |
|--------------------------|------------------|------------------|--------------------|--------|
| Cavacos<br>convencionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas  |
| 48,1 a*                  | 47 <b>,</b> 7 a  | 17,4 c           | 39,6 b             | 41,0 b |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 28 - Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo(A) sobre a resistência ao estouro, para 40 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx A

|           | ·      |        |                 |     |                  |
|-----------|--------|--------|-----------------|-----|------------------|
| Fonte     | de Var | iação  |                 | GL  | Quadrados Médios |
| Forma     | de cav | acos ( | (C)/A,          | 4   | 1013,9703**      |
| Forma     |        |        | . <u>.</u>      | 4   | 921,3115**       |
| Alcali    | ativo  | (A)    | /c,             | 1   | 94,9218          |
| <b>†1</b> | Ħ      | 11     | /c <sub>2</sub> | 1   | 29,7670          |
| :1        | 11     | 71     | /c <sub>3</sub> | 1.  | 2,6126           |
| 11        | 11     | 11     | /c <sub>4</sub> | 1   | 222,7401**       |
| 11        | 11     | 11     | /c <sub>5</sub> | 1   | 34,6791          |
| Erro      |        |        | -               | 120 | 29,6285          |
|           |        |        |                 |     |                  |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 29 - Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A), sobre a resistência ao estouro, para 40 graus Schopper Riegler

|              |                               | For                   | ma de Cava       | cos                |                 |
|--------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Alcali Ativo | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cava-<br>cos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas           |
| 13           | 59 <b>,</b> 1 a*              | 63,4 a                | 31,6 b           | 60,5 a             | 58,3 a          |
| 15           | 64 <b>,</b> 8 a               | 60,2 ab               | 32 <b>,</b> 5 c  | 51,9 b             | 54 <b>,</b> 9 b |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 30 - Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo (A), sobre a resistência ao estouro, para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx A

| Fonte     | de Var | riaçã | o                  | GL  | Quadrados Médios |
|-----------|--------|-------|--------------------|-----|------------------|
| Forma     | de cav | acos  | (C)/A <sub>7</sub> | 4   | 941,1588**       |
| Forma     | de cav | acos  | (C)/A <sub>2</sub> | 4   | 902,6081**       |
| Alcali    | ativo  | (A)   | /c <sub>1</sub>    | 1   | 155,5196*        |
| 11        | 11     | #1    | /c <sub>2</sub>    | 1   | 30,4001          |
| <b>†1</b> | 11     | ***   | /c <sub>3</sub>    | 1   | 0,0918           |
| 11        | 17     | 7.5   | /c <sub>4</sub>    | 1   | 148,7548*        |
| 11        | 11     | H     | /c <sub>5</sub>    | 1   | 49,4098          |
| Erro      |        |       |                    | 120 | 29,6285          |
|           |        |       |                    |     |                  |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 31 - Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A), sobre a resistência ao estouro, para 55 graus Schopper Riegler

|              |                               | For                   | ma de Cava       | cos                |                 |
|--------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Alcali Ativo | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cava-<br>cos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas           |
| 13           | 63,7 ab*                      | 71,7 a                | 39,6 c           | 67 <b>,</b> 7 a    | 62 <b>,</b> 8 b |
| 15           | 70,9 a                        | 68,5 ab               | 39 <b>,</b> 8 d  | 60,7 be            | 58 <b>,</b> 7 c |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

## 4.4.3. Resistência ao rasgo

Os valores relativos à resistência ao rasgo, expressos pelo fator de rasgo, bem como suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 32 a 43.

A análise da variância da resistência ao rasgo, apresentada no Quadro 33, mostrou uma série de efeitos e interações significativos. Em todos os casos, a forma dos cavacos e o fator H exerceram influência (P < 0.01 e P < 0.05, respectivamente) sobre a resistência ao rasgo das celuloses. O álcali ativo teve menor efeito nessa resistência, mostrando significância (P < 0.05) apenas a  $25^{\circ}$ SR. Entretanto, uma série de interações foram constatadas como significativas. Nos níveis de refino  $25^{\circ}$ SR e  $40^{\circ}$ SR, a interação tripla  $C \times A \times F$  mostrou-se significativa (P < 0.05), enquanto a  $55^{\circ}$ SR, apenas as interações duplas  $C \times A \times F (P < 0.01)$  e  $A \times F (P < 0.05)$  foram significativas.

Tendo em vista a amplitude de dados e condições, decidiu-se analisar os efeitos dos parâmetros forma de cavacos, álcali ativo e fator H e suas interações, a cada grau de refino pré-estabelecido. A seguir, buscou-se uma comparação global.

## 4.4.3.1. Resistência ao rasgo a 25 SR

A 25°SR, ou seja, no início do refino, já se notaram diferenças significativas (P<0,01) entre as celuloses obtidas das diversas formas de cavacos. Esse efeito significativo foi notado dentro de todas as combinações entre os níveis de álcali ativo e fator H (Quadro 34). Verifica-se no Quadro 35, que maiores resistência ao rasgo foram constatadas para a celulose de cavacos convencionais e de mini-cavacos. A

seguir, com resistências semelhantes, destacavam-se celuloses de fitas e de serragem grossa. Apenas a celulose de serragem fina mostrou resultados decepcionantes.

O álcali ativo mostrou efeito significativo apenas nas seguintes situações:

- a) dentro de cavacos convencionais e de fator H 900: o aumento do álcali ativo de 13% para 15% resultava em um aumento da resistência ao rasgo de 109,8 para 126,2.
- b) dentro de mini-cavacos e de fator H 900: o aumento do álcali ativo causava redução na resistência ao rasgo de 118,7 para 107,1.
- c) dentro de fitas e de fator H 450: um aumento significativo da resistência ao rasgo era conseguido (76,9 para 106,7), quando se deslignificavam fitas e se alterava o álca li ativo de 13 para 15%.
- O fator H mostrou efeito significativo nas seguintes situações:
- a) dentro de cavacos convencionais e de álcalis ativos 13 e 15%: o aumento do fator H resultava em aumento da resistência ao rasgo.
- b) dentro de serragem fina e de álcalis ativos 13 e 15%: embora as resistências ao rasgo das celuloses de serragem fina fossem baixas, elas eram aumentadas, quando o fator H era aumentado de 450 para 900.
- c) dentro de fitas e de álcali ativo 15%: o aumento do fator H resultava em perda de resistência ao rasgo (de 106,7 para 83,8).

As melhores condições de deslignificação para se obterem maiores resistências ao rasgo a 25 SR, foram notadas serem, para os cavacos convencionais e fitas, as seguintes:

a) cavacos convencionais: 15% de álcali ativo e 900 de fator H.

b) fitas: 15% de álcali ativo e 450 de fator H. Obser vou-se no caso das fitas, que a resistência ao rasgo a 25°SR desse tratamento, estava na mesma ordem de grandeza, que as resistências do tratamento cavacos convencionais, o que é bastante relevante.

## 4.4.3.2. Resistência ao rasgo a 40°SR

A  $40^{\circ}$ SR também se notaram efeitos significativos (P<0,01) da forma dos cavacos sobre a resistência ao rasgo. A significância ocorria dentro de todas as combinações entre os níveis de álcali ativo e de fator H. As maiores resistências ao rasgo foram obtidas para as celuloses de mini-cava - cos e de cavacos convencionais, seguindo-se serragem grossa, fitas e serragem fina. Os resultados para esses três últimos tipos de cavacos não foram considerados satisfatórios, exceto o caso do tratamento  $C_5A_2F_1$  (fitas, álcali ativo 15% e fator H 450). Nesse caso, a resistência ao rasgo da celulose de fitas atingiu valores similares aos obtidos para cavacos convencionais.

- O álcali ativo mostrou efeito significativo nas seguintes situações:
- a) dentro de cavacos convencionais e fator H 900: o aumento do álcali ativo resultava em aumento da resistência ao rasgo de 101,4 para 113,0.
- b) dentro de mini-cavacos e dos fatores H 450 e 900: em ambos os casos, o aumento do álcali ativo resultou em que da da resistência ao rasgo.
- c) dentro de fitas e de fator H 450: um aumento significativo da resistência ao rasgo era obtido (84,8 para 100,7), quando o álcali ativo era elevado de 13 para 15%.
  - O fator H mostrou efeito significativo nas seguintes

situações:

- a) dentro de cavacos convencionais e de álcali ativo 13%: o aumento do fator H resultava em diminuição da resistência ao rasgo de 113,0 para 101,4.
- b) dentro de mini-cavacos e de álcali ativo 15%: o au mento do fator H resultava em diminuição da resistência ao rasgo de 112,3 para 97,5.
- c) dentro de fitas e de álcali ativo 15%: o aumento do fator H contribuia para uma redução da resistência ao rasgo, de 100,7 para 78,4.

As melhores condições para se obterem máximos retornos na resistência ao rasgo a 40°SR, foram notadas como as seguintes, para mini-cavacos e fitas:

- a) mini-cavacos: 13% de álcali ativo e fator H 450.
- b) fitas: 15% de álcali ativo e fator H 450.

# 4.4.3.3. Resistência ao rasgo a 55°SR

A 55°SR constatou-se que a resistência ao rasgo das celuloses eram afetadas significativamente pela forma de cavacos (P < 0.01) e fator H (P < 0.05). Interações duplas significativas ocorreram para Cx A (forma de cavacos e álcali a tivo, sendo P < 0.01), Cx F (forma de cavacos e fator H, sendo P < 0.01) e Ax F (álcali ativo e fator H, sendo P < 0.05).

Nesse nível de refino, os melhores resultados foram alcançados para as celuloses de mini-cavacos e de cavacos convencionais, seguindo-se as de serragem grossa, fitas e serragem fina. Entretanto, os valores dessa resistência podiam ser considerados baixos para as três últimas formas de cavacos, exceto no caso do tratamento  ${}^{C}_{5}{}^{A}_{2}F_{1}$  (fitas, álcali ativo 15% e fator H 450).

No Quadro 38 está apresentado o desdobramento da inte

ração Cx A, que permitiu deduzir que:

- a) a forma dos cavacos exerceu efeito significativo (P < 0,01) dentro dos dois níveis de álcali ativo estudados.
- b) o álcali ativo mostrou influência significativa (P<0,01) apenas para as celuloses de mini-cavacos e de fitas. No caso dos mini-cavacos, o aumento do álcali ativo era acompanhado por uma queda na resistência ao rasgo a 55°SR. O inverso ocorria para as celuloses de fitas.

No Quadro 40 está apresentado o desdobramento da interação CxF, que permitiu observar que:

- a) a forma de cavacos exerceu efeito significativo (P < 0,01) dentro dos dois níveis de fator H estudados.
- b) o fator H mostrou influência significativa (P < 0,01) apenas para as celuloses de mini-cavacos e de fitas. Em ambos os casos, o aumento do fator H resultava em diminuição da resistência ao rasgo.

No Quadro 42 está apresentado o desdobramento da interação  $A \times F$ , que permitiu observar que:

- a) o álcali ativo exerceu influência significativa (P < 0.05) apenas quando se usou o fator H 450. O aumento do álcali ativo nesse fator H resultava em aumento da resistência ao rasgo.
- b) o fator H mostrou efeito significativo (P<0,01) quando se usou álcali ativo 15% na deslignificação. O aumento do fator H, nesse nível de álcali ativo, resultava em diminuição da resistência ao rasgo de 96,2 para 87,7, conforme se observa no Quadro 43.

# 4.4.3.4. Comparação globa para a resistência ao rasgo

Em todos os níveis de refino e para todas as condições de álcali ativo e fator H, a forma de cavacos exerceu marcante influência sobre a resistência ao rasgo. Os melhores resultados foram obtidos para as celuloses de cavacos convencionais e de mini-cavacos. A seguir, mostrando valores equivalentes, situaram-se as celuloses de serragem grossa e de fitas de madeira. Resultados inferiores foram obtidos nas celuloses de serragem fina. Os baixos resultados para as celuloses de serragem fina, no que concerne à resistência ao rasgo, eram de certa forma esperados. Isso porque, durante a própria preparação dos cavacos, os danos mecânicos às fibras são consideráveis. Paralelamente, durante o cozimento, essas fibras são mais susceptíveis a degradação química, refletindo-se em perdas de resistência. FERGUS et alii (1973) e TAY-LOR (1977), já haviam relatado, que as serragens conduziam a polpas de menor resistência ao rasgo.

O estabelecimento de uma condição ideal de cozimento tornou-se função de cada tipo de cavacos. No caso dos cavacos convencionais, o aumento das condições de cozimento resultaram em melhoria da resistência ao rasgo. No caso dos mi ni-cavacos, o aumento do fator H e do álcali ativo resultava em queda da resistência ao rasgo. Mesma situação ocorria para as celuloses de serragem, embora não tão marcantemente. Para as fitas de madeira, descobriu-se que era possível se alcançar resistências ao rasgo tão boas quanto para os cavacos convencionais, quando o material era deslignificado com 15% de álcali ativo e 450 de fator H.

77,9 106,8 90,5 83,2 79,2 101,7 83,8 78,5 75,0 95,9 73,6 75,6 Repetição/média 108,0 100,0 91,3 74,3 83,3 87,0 75,0 80,0 93,5 71,9 78,5 \* 109,0 80,9 100,0 91,3 83,3 74,3 87,0 75,0 77,0 95,0 61,7 74,1 104,5 71,8 89,0 83,0 88,9 105,0 77,3 85,4 72,0 83,3 99,3 74,2 ä 83,1 93,4 86,2 91,9 85,4 79,4 83,9 89,5 83,6 92,9 81,3 84,5  $I \bowtie$ Repetição/média Serragem Grossa 78,0 71,2 72,2 80,5 89,0 79.9 81,0 85,0 72,9 84,6 85,9 85,0 83,6 89,5 83,0 76,0 90,5 83,0 88,2 85,0 83,0 98,2 83,9 83,9 9,68 87,8 95,0 0,06 96,3 93,3 82,6 82,0 87,0 84,6 0,66 95,5 44,6 44,6 58,2 57,6 59,5 59.5 62,8 8,69 65,8 65,8 66,5 70,3 114 Repetição/média Forma de Cavacos Serragem Fina 44,0 44,0 9169 0,19 58,0 58.0 0,99 80,0 66,5 66,5 65,0 79,0 34 52,0 52,0 62,0 0,09 9,19 9,19 0,69 70,0 0'99 62,1 62,1 74,2 S. 49,0 37,8 37,8 51,8 58,8 58.8 53,5 68,7 60,2 0,99 59,4 68,7 2 97,3 107,1 120,7 110,0 112,6 117,4 101,1 129,0 112,3 122,5 115,0 134,6 118,7 97,5 119,2 125,5 122,2 97,8 I۲ Repetição/ média 124,0 105,1 128,0 101,4 98,7 104,8 123,6 133,0 120,0 130,0 Mini-cavacos 113,0 124,3 130,0 132,7 108,0 106,7 125,7 0496 8 103,5 112,2 120,0 119,5 89,0 102,2 108,6 124,8 98,1 2 103,9 124,6 109,8 106,5 122,3 119,0 116,0 4,66 6 H 107,2 126,2 7,011 101,3 113,0 106,5 111,0 116,0 104,4 110,5 6,111 I× Cavacos Convencionais Repetição/média 95,3 105,2 108,0 100,8 127,0 114,8 966 102,6 110,1 105,0 114,6 ~ 107,0 104,0 120,0 116,6 110,7 116,5 101,8 106,6 107,3 106,5 109,1 29 0,06 112,4 120,5 7,06 107,6 131,5 122,0 115,9 107,1 119,2 # 1 Alcali Ativo (A) 13 15 13 13 23 13 13 Fator H (F) 450 900 450 8 450 906 60 0 25 40 55

CLADIO 32 - Valores da resistência ao rasgo das celuloses a 25, 40 e 55ºSR

QUADRO 33 - Análise da variância da resistência ao rasgo das celuloses

| Font       | e de Variação         | GL  | Quadrados Médios   |
|------------|-----------------------|-----|--------------------|
|            | Grau Schopper Riegler | 2   | 141,0110           |
|            | Forma de cavacos (C)  | 4   | 7580,7700**        |
|            | Alcali ativo (A)      | 1   | 225,8170*          |
| SR         | Fator H (F)           | 1.  | 242,4120*          |
| 50         | Interação CxA         | 4   | 220,8290**         |
| <i>C</i> 1 | Interação CxF         | 4   | 290,9920**         |
|            | Interação Ax F        | 1   | 387,6030**         |
|            | Interação CxAxF       | 4   | 178,5870*          |
|            | Forma de cavacos (C)  | 4   | 5240,5800**        |
|            | Alcali ativo (A)      | 1   | 30,1042            |
| œ          | Fator H (F)           | 1   | 311,8980*          |
| 40°SR      | Interação Cx A        | 4   | 370,4890**         |
| 4          | Interação Cx F        | 4   | 176,9330**         |
|            | Interação AxF         | 1   | . 3,7497           |
|            | Interação CxAxF       | 4   | 158,5420*          |
|            | Forma de cavacos (C)  | 4   | 4972,0800**        |
|            | Alcali ativo (A)      | 1   | 20,4751            |
| SH         | Fator H (F)           | 1   | 250,3040*          |
| 550        | Interação CxA         | 4   | 303,6350**         |
| 17.1       | Interação Cx F        | 4   | 190,6090**         |
|            | Interação AxF         | 1   | 233 <b>,</b> 0520* |
|            | Interação Cx Ax F     | 4   | 79,4699            |
| Erro       |                       | 120 | 47,4227            |
| C.V.       | = 7,56%               |     |                    |

Significativo, ao nível de 1% de probabilidade. Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 34 - Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e de fator H (F), sobre a resistência ao rasgo, para 25 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação CxAxF

| Font       | e de 1        | <i>T</i> ariação                      |                                   | ${	t GL}$ | Quadrados Médios     |
|------------|---------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------|----------------------|
| Forma      | a de c        | avacos                                | (C)/A <sub>7</sub> F <sub>7</sub> | 4         | 1944,4449**          |
| **         | 11            | 11                                    | "/A <sub>l</sub> F <sub>2</sub>   | 4         | 1671,0373**          |
| ŦŦ.        | <b>†1</b>     | 71                                    | " /A <sub>2</sub> F <sub>1</sub>  | 4.        | 2558 <b>,</b> 7300** |
| 11         | 71            | II                                    | "/A <sub>2</sub> F <sub>2</sub>   | 4         | 2096,9749**          |
| Alcal      | li ati        | (A) ov.                               | /c <sub>1</sub> F <sub>1</sub>    | 1.        | 147,0150             |
| **         | 11            | 1 11                                  | /C <sub>7</sub> F <sub>2</sub>    | 1         | 403,4393**           |
| 11         | 31            | 11                                    | /c <sub>2</sub> F <sub>1</sub>    | 1         | 34,0813              |
| 11         | n             | t ti                                  | /C <sub>2</sub> F <sub>2</sub>    | 1         | 203,0013*            |
| 11         | 11            | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | /c <sub>3</sub> F <sub>1</sub>    | 1         | 0,0000               |
| 11         | fi            | 11                                    | /c <sub>3</sub> F <sub>2</sub>    | 1         | 0,5095               |
| 11         | 51            | 11                                    | /c <sub>4</sub> F <sub>1</sub>    | 1         | 0,1343               |
| tt         | 11            | H                                     | /c <sub>4</sub> F <sub>2</sub>    | 1.        | 68,6813              |
| 11         | 11            | Fi                                    | /c <sub>5</sub> F <sub>7</sub>    | 1         | 1336,5335**          |
| Ŧ <b>†</b> | 11            | 11                                    | /c <sub>5</sub> F <sub>2</sub>    | l         | 17,6813              |
| Fator      | - н (в        | 1)                                    | /c <sub>l</sub> A <sub>l</sub>    | 1.        | 233,1263*            |
| 11         | 11 11         |                                       | /c <sub>1</sub> A <sub>2</sub>    | 1         | 539,6013**           |
| 11         | 77 11         |                                       | /C <sub>2</sub> A <sub>7</sub>    | 1         | 55,8150              |
| 11         | 11 11         |                                       | /C <sub>2</sub> A <sub>2</sub>    | 1         | 159,1343             |
| 11         | 11 11         |                                       | /c <sub>3</sub> A <sub>1</sub>    | 1         | 277,4400*            |
| 11         | 11 11         |                                       | /c <sub>3</sub> A <sub>2</sub>    | 1         | 254,1495*            |
| 17         | 7 <b>7</b> 77 |                                       | /c <sub>4</sub> A <sub>1</sub>    | 1         | 13,8010              |
| 11         | 11 11         |                                       | /c <sub>4</sub> A <sub>2</sub>    | 1         | 24,4013              |
| 11         | 11 11         |                                       | /c <sub>5</sub> A <sub>1</sub>    | 1         | 159,6495             |
| 10         | 11 11         |                                       | /c <sub>5</sub> A <sub>2</sub>    | 1         | 791,2010**           |
| Erro       |               |                                       |                                   | 120       | 47,4227              |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 35 - Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F), sobre a resistência ao rasgo, para 25 graus Schopper Riegler

| Alcali<br>Ativo (A)                 |                               | For                   | ma de Cav        | acos               | <del></del>     |
|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Fator H (F)                         | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cava-<br>cos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas           |
| $^{\mathrm{A}}$ 1 $^{\mathrm{F}}$ 1 | 97,3 a*                       | 112,6 a               | 44 <b>,</b> 6 c  | 83 <b>,</b> 1 b    | 76 <b>,</b> 9 b |
| $^{\mathtt{A}}$ 1 $^{\mathtt{F}}$ 2 | 109,8 a                       | 118,7 a               | 58 <b>,</b> 2 c  | 86 <b>,</b> 2 b    | 87,2 b          |
| $^{\mathrm{A}}2^{\mathrm{F}}1$      | 107,2 a                       | 117,4 a               | 44,6 c           | 83,4 b             | 106,7 a         |
| $^{\mathrm{A}}2^{\mathrm{F}}2$      | 126 <b>,</b> 2 a              | 107,1 b               | 57,6 d           | 79,4 c             | 83 <b>,</b> 8 c |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 36 - Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e de fator H (F), sobre a resistência ao rasgo, para 40 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação CxAxF

|           |     |       | ariação    |  | GL  | Quadrados Médio:    |
|-----------|-----|-------|------------|--|-----|---------------------|
| Form      | a d | le ca | avacos     | (C)/A <sub>1</sub> F <sub>1</sub>                                | 4   | 2141,3241**         |
| *1        |     | ı     | t <u>į</u> | "/A <sub>1</sub> F <sub>2</sub>                                  | 4   | 1513,9916**         |
| Ħ         | 1   | ı     | tj         | "/A <sub>2</sub> F <sub>1</sub>                                  | 4   | 1443,5268**         |
| 11        | 11  |       | **         | "/A <sub>2</sub> F <sub>2</sub>                                  | 4   | 847,7068**          |
| Alca      | li  | ati   | 70 (A)     | /C <sub>1</sub> F <sub>1</sub>                                   | 1   | 8 <b>,</b> 0495     |
| 11        |     | 11    | 11         | /C <sub>1</sub> F <sub>2</sub>                                   | 1   | 204,7495*           |
| ##        |     | 11    | 11         | /c <sub>2</sub> F <sub>1</sub>                                   | 1   | 416,6663**          |
| 11        |     | 11    | 15         | /C <sub>2</sub> F <sub>2</sub>                                   | 1   | 935,0013**          |
| 71        |     | Ħ     | 11         | /c <sub>3</sub> F <sub>1</sub>                                   | 1   | 0,0000              |
| <b>11</b> |     | 11    | 11         | /c <sub>3</sub> F <sub>2</sub>                                   | 1   | 72,8013             |
| 11        |     | 11    | 11         | /c <sub>4</sub> F <sub>1</sub>                                   | 1   | 63,7002             |
| 11        |     | **    | 71         | /c <sub>4</sub> F <sub>2</sub>                                   | 1   | 46,7595             |
| 11        |     | 11    | ŧt         | /c <sub>5</sub> F <sub>7</sub>                                   | 1   | 380,0095**          |
| Ħ         |     | 11    | at .       | /c <sub>5</sub> F <sub>2</sub>                                   | 1   | 22,2335             |
| ator      | • Н | (F)   |            | /claj  | 1   | 203,5832*           |
| 11        | ff  | fi    |            | /c <sub>1</sub> A <sub>2</sub>                                   | 1.  | 8,2835              |
| 11        | 11  | ti    |            | /c <sup>2</sup> v <sup>1</sup>                                   | ı   | 63,3750             |
| 11        | Ħ   | 11    |            | /c <sub>2</sub> A <sub>2</sub>                                   | 1   | 328 <b>,</b> 5593** |
| T#        | fi  | 11    |            | /c <sub>3</sub> A <sub>1</sub>                                   | 1   | 17,0010             |
| 17        | 11  | 11    |            | $/c_3^A_2$   | 1   | 160,1663            |
| 11        | Ħ   | Ħ     |            | /c <sub>4</sub> A <sub>1</sub>                                   | 1   | 95,5995             |
| F†        | 77  | 11    |            | /c <sub>4</sub> A <sub>2</sub>                                   | 1   | 25 <b>,</b> 4202    |
| ;1        | 11  | 71    |            | /c <sub>5</sub> A <sub>1</sub>                                   | 1   | 9,6263              |
| 11        | 11  | 11    |            | /c <sub>5</sub> A <sub>1</sub><br>/c <sub>5</sub> A <sub>2</sub> | 1   | 745,9343**          |
| rro       |     |       |            |  | 120 | 47,4227             |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

ţ

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 37 - Efeito de forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e de fator H (F), sobre a resistência ao rasgo, para 40 graus Schopper Riegler

| Alcali<br>Ativo  | (   |                               | For                   | rma de Cav       | acos               |                 |
|--|-----|-------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Fator H  | , , | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cava-<br>cos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas           |
| $^{\mathtt{A}}\mathtt{_{l}^{F}}\mathtt{_{l}}$          |     | 113,0 b*                      | 129 <b>,</b> 0 a      | 59 <b>,</b> 5 d  | 91,9 c             | 84 <b>,</b> 7 c |
| $^{\mathrm{A}}_{\mathrm{1}}^{\mathrm{F}}_{\mathrm{2}}$ |     | 101,3 b                       | 122,5 a               | 62 <b>,</b> 8 d  | 83 <b>,</b> 9 c    | 82,2 c          |
| $^{A}2^{F}1$   |     | 110,7 a                       | 112,3 a               | 59 <b>,</b> 5 c  | 85,4 b             | 100,7 ab        |
| $^{\mathrm{A}}2^{\mathrm{F}}2$                         |     | 113,0 a                       | 97,5 ab               | 69 <b>,</b> 8 d  | 89,5 bc            | 78,4 cd         |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pe lo teste de Tukey.

QUADRO 38 - Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A) sobre a resistência ao rasgo, para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx A

| Fonte  | de Vai | riação       | )                  | $\operatorname{GL}$ | Quadrados Médios |
|--------|--------|--------------|--------------------|---------------------|------------------|
| Forma  | de car | vacos        | (C)/A <sub>7</sub> | 4                   | 3489,4775**      |
| Forma  | de car | vacos        | (C)/A <sub>2</sub> | 4                   | 1786,2525**      |
| Alcali | ativo  | (A)          | /c <sub>7</sub>    | 1                   | 7 <b>,</b> 1992  |
| Ħ      | 11     | A            | /c <sub>2</sub>    | 1                   | 706,0982**       |
| 71     | 11     | 11           | /o <sub>3</sub>    | 1                   | 11,2126          |
| 11     | *1     | 11           | /c <sub>4</sub>    | 1                   | 117,1875         |
| Ħ      | 77     | 11           | /c <sub>5</sub>    | l                   | 393,3071**       |
| Erro   |        | <del>"</del> |                    | 120                 | 47,4227          |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 39 - Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A), sobre a resistência ao rasgo, para 55 graus Schopper Riegler

|                  |                               | For              | ma de Cava       | cos                |         |
|------------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|---------|
| Alcali Ativo (A) | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas   |
| 13               | 107,6 b*                      | 123,8 a          | 66,1 d           | 82,4 c             | 74,3 cd |
| 15               | 109,2 a                       | 108,5 a          | 68,0 c           | 88 <b>,</b> 7 b    | 85,8 b  |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 40 - Efeito de forma de cavacos (C) e de fator II (F), sobre a resistência ao rasgo, para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx F

| Fonte | d€ | Variaçã | 0                                  | GL     | Quadrados Médios           |
|-------|----|---------|------------------------------------|--------|----------------------------|
|       |    | cavacos | _4_                                | 4      | 2762,4587**<br>2400,2425** |
| Fator | Н  |         | /c <sub>1</sub>                    | 1      | 92,3992                    |
| 11    | 11 | II      | /c <sub>2</sub><br>/c <sub>3</sub> | 1<br>1 | 459,4182**<br>20,8026      |
| 11    | 11 | 11      | /c <sub>4</sub>                    | 1<br>1 | 86,9405<br>353,1671**      |
| Erro  |    |         | J                                  | 120    | 47,4227                    |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 41 - Efeito de forma de cavacos (C) e de fator II (F) sobre a resistência ao rasgo, para 55 graus Schopper Rieglor

|                               | For                | ma de Cav                           | acos                               |   |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos   | Serragem<br>fina                    | Serragem<br>grossa                 | Fitas   |
| •                             | , .                | 65,8 d                              | 88,3 c                             | 85,5 c  |
|                               | conven-<br>cionais | Cavacos conven-cionais Mini-cavacos | Cavacos dini Serragem cavacos fina | conventionals cavacos fina grossa  105,6 b* 122,4 a 65,8 d 88,3 c |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade , pelo teste de Tukey.

QUADRO 42 - Efeito de álcali ativo (A) e de fator H (F) sobre a resistência ao rasgo, para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da in teração Ax F

| Fonte de Variação   | GL     | Quadrados Médios     |
|---|--------|----------------------|
| Alcali ativo (A)/F <sub>1</sub> Alcali ativo (A)/F <sub>2</sub> | 1      | 195,8400*<br>57,6906 |
| Fator H (F) /A <sub>1</sub> Fator H (F) /A <sub>2</sub>         | 1<br>1 | 0,1460<br>483,2020** |
| Tro   | 120    | 47 <b>,</b> 4227     |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 43 - Efeito de álcali ativo (A) e de fator H (F), sobre a resistência ao rasgo, para 55 graus Schopper Riegler

| Fator H (F) | Álcali   | Ativo   |
|-------------|----------|---------|
|             | 13       | 15      |
| 450         | 89,7 bà* | 96,1 aA |
| 900         | 91,1 aA  | 87,7 aB |

<sup>\*</sup> Os tratamentos seguidos pela mesma letra, não diferem esta tisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. As letras minúsculas comparam o álcali ativo dentro do fator H, enquanto as maiúsculas comparam o fator H dentro do álcali ativo.

### 4.4.4. Esticamento

Os valores do esticamento das celuloses, expressos em porcentagem, bem como suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 44 a 53.

A análise da variância para o esticamente das celuloses, apresentada no Quadro 45, mostrou que existia efeito significativo (P < 0,01) apenas para dois fatores: grau Schopper Riegler e forma de cavacos. A forma dos cavacos mostrava-se significativa (P < 0,01) aos três níveis de grau de refino considerados. Em cada nível de refino notou-se, pelo menos uma significância de interações duplas. Em nenhum caso, a interação tripla mostrou-se significativa.

Quanto à influência da forma de cavacos no esticamento das celuloses, verificou-se que os maiores esticamentos foram observados para as celuloses de fitas e de cavacos con vencionais, seguindo-se as celuloses de mini-cavacos e serra gem grossa. Também para essa propriedade, as celuloses de serragem fina mostravam os piores resultados.

Aos três níveis de refino, notou-se que a interação forma de cavacos x álcali ativo foi significativa, pelo menos ao nível de 5% de probabilidade.

A  $25^{\circ}$ SR, o desdobramento da interação Cx A (Quadro 46) permitiu deduzir que:

- a) a forma dos cavacos exercia influência significat $\underline{i}$  va (P <0,01) sobre o esticamento, dentro dos dois níveis de álcali ativo estudados.
- b) o álcali ativo mostrava efeito significativo sobre o esticamento aponas para as celuloses de serragem grossa (P < 0,05) e de fitas (P < 0,01). Em ambos os casos, o aumento do álcali ativo correspondia a um decréscimo no esticamento (Quadro 47).

A  $40^{\circ}$ SR e  $55^{\circ}$ SR, o desdobramento da interação C x A, Quadros 50 e 52, respectivamente, permitiu deduzir que:

- a) a forma dos cavacos exercia influência significat $\underline{i}$  va (P < 0,01) sobre o esticamento, dentro dos dois níveis de álcali ativo estudados.
- b) o álcali ativo mostrava cfeito significativo sobre o esticamento, apenas para as celuloses de fitas (P < 0,01). O aumento do álcali ativo correspondia, para os dois graus de refino, a uma diminuição do esticamento.

A outra interação dupla que se mostrou significativa foi forma de cavacos x fator H, a 25°SR. Para esse nível de refino, procedeu-se ao desdobramento da interação, conforme mostrado no Quadro 48. O desdobramento permitiu deduzir que:

- a) a forma dos cavacos exercia efeito significativo (P<0,01) sobre o esticamento, dentro dos dois níveis de fator H estudados.
- b) o fator H mostrava efeito significativo sobre o esticamento para as celuloses de mini-cavacos, serragem fina e fitas. Para as celuloses de mini-cavacos e de serragem fina, o aumento do fator H provocava um aumento do esticamento. Já para as celuloses de fitas, ocorria o inverso.

QUADRO 44 - Valores do esticamento das celuloses a 25, 40 e 55°SR

| Attoo   Attoo   Convenion   Attoo   Convenion   Attoo   Attoo   Attoo   Convenion   Attoo   |   |         |    |              |              |              |        |              |              |              |              | e.           | Forma de Cavacos | Cavac  | 80           |              |              |              |          |              |                 |        | Ì            |
|---|---|---------|----|--------------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|--------------|-----------------|--------|--------------|
| The control of the | 0 | Pator H |    |              | Som Ct       | nvenci       | tonate |              | Min1-c       | ауясов       | _            | S            | errage           | ļ l    | 8            | S.           | ггадеш       | ł            | 88       |              | Pit             | 68     |              |
|   | i | (F)     |    |              | petiç        | io/méc       | 11a    | Re           | petiçâ       | o/ méd       | la           | Re           | peticã           | o/ méd | fa.          | Re           | petiçã       | o/méd        | ta<br>ta | Re           | petica          | o/ mé3 | <b>1</b>     |
| 450 15 2,66 2,64 2,80 2,70 2,30 2,05 2,47 2,27 1,06 1,30 0,80 1,05 2,63 2,50 2,32 2,48 3,00 3,40 4,00 15 3,00 3,23 3,24 3,15 2,61 2,51 2,60 2,57 1,31 1,49 1,21 1,33 1,71 2,85 2,35 2,30 3,00 2,65 2,86  16 3,00 3,23 3,24 3,15 2,61 2,51 2,60 2,57 1,31 1,49 1,21 1,33 1,71 2,85 2,35 2,30 3,00 2,65 2,86  17 2,43 2,88 2,78 2,69 2,77 2,54 2,74 1,20 1,41 1,93 1,51 2,41 2,01 3,47 2,63 3,10 3,02 2,60  18 3,19 3,29 3,40 3,29 2,92 3,67 2,71 3,10 2,18 2,50 1,73 2,13 2,92 3,0 3,10 3,10 3,10 2,10 2,10  19 3,19 3,59 3,40 3,50 2,92 3,67 2,71 3,10 2,18 2,50 2,80 2,41 3,42 3,06 3,48 3,68 4,90  19 3,11 3,54 3,51 3,58 2,73 3,60 3,59 3,58 3,10 2,73 2,50 2,80 2,67 3,81 2,98 3,63 3,48 3,70 3,48 3,60  19 3,63 3,50 3,57 3,60 3,59 3,53 3,50 3,52 3,50 2,90 3,10 3,49 3,44 3,51 3,49 3,40 3,51 3,40 3,50 3,80 3,90 3,90 3,90 3,90 3,90 3,90 3,90 3,9  |   |         |    | 1.           | 23           | å.           | IM     | 1.9          | 2.0          |              | ı.           | 41           | 28               | *      | l×           | 1            | 5.           | 39           | lm .     | <b>2</b>     | \$ <del>*</del> | *      | iH           |
| 900 13 3,13 3,63 2,78 2,63 2,77 2,51 2,94 2,74 1,20 1,41 1,93 1,51 2,41 2,01 3,47 2,63 3,10 3,02 2,60 1,5 3,12 3,05 2,27 2,84 2,91 2,76 3,13 2,95 2,78 1,50 1,92 2,00 2,10 2,10 2,10 2,06 2,40 2,70 2,75 2,55 1,5 3,14 3,42 3,63 3,14 3,42 3,15 3,14 3,14 3,14 3,14 3,14 3,14 3,14 3,14   | ñ | 450     | 13 | 2,66<br>3,00 | 2,64         | 2,80         |        |              | 2,05<br>2,51 | 2,47         | 2,27         | 1,06         | 1,30             | 0,80   | 1,05         | 2,63<br>1,71 | 2,50<br>2,85 | 2,32<br>2,35 | 2,48     | 3,00         | 3,40            | 4,00   | 3,63         |
| 450 13 3,19 3,29 3,40 3,39 2,92 3,67 2,71 3,10 2,18 2,50 1,73 2,13 2,92 3,30 3,80 3,34 3,48 3,68 4,90 13 3,11 3,54 3,51 3,36 2,61 3,61 3,12 2,28 2,67 2,30 2,41 3,42 3,06 3,20 3,22 3,50 3,38 3,34  450 13 3,11 3,54 3,51 3,38 2,73 3,30 3,28 3,10 2,73 2,50 2,80 2,67 3,81 2,98 3,66 3,48 3,70 3,48 3,60 15 3,63 3,58 3,77 3,69 3,63 3,57 3,50 3,72 2,87 3,00 2,70 2,65 2,59 2,90 3,29 2,80 2,39 3,10 3,24 3,47  450 13 3,73 3,58 3,77 3,69 3,63 4,00 3,55 3,72 2,87 3,00 2,70 2,65 3,75 3,90 3,72 3,79 3,93 4,00 5,00 15 4,00 4,06 3,80 3,93 3,83 3,79 4,00 3,87 3,10 3,10 3,20 3,13 4,45 3,93 3,80 4,06 4,00 4,00 4,00 3,69 3,94 4,05 3,89 2,92 2,74 3,40 3,62 3,59 3,59 3,55 3,45 3,45 3,55 3,45  | · | 006     | 13 | 2,43<br>3,21 |              | 2,78<br>2,27 |        | 2,91         | 2,51<br>2,76 | 2,94<br>3,19 | 2,95         | 1,20         | 1,41             | 1,93   | 1,51         | 2,41         | 2,01         | 3,47         | 2,63     | 3,10         | 3,02            | 2,60   | 2,90         |
| 900 15 3,61 3,54 3,51 3,58 2,73 3,30 3,28 3,10 2,73 2,50 2,80 2,67 3,81 2,98 3,66 3,48 3,70 3,48 3,60 4,00 3,59 3,50 3,89 3,63 2,94 3,45 3,40 3,20 3,10 3,10 3,10 3,10 3,10 3,10 3,10 3,1   | - | 450     | 13 | 3,19         |              |              |        | 2,92         | 3,67         | 2,71<br>3,15 | 3,10<br>3,12 | 2,18<br>2,28 | 2,50             | 2,30   | 2,13<br>2,41 | 2,92<br>3,42 | 3,30         | 3,80<br>3,20 | 3,34     | 3,48         | 3,68            | 4,90   | 4,02<br>3,40 |
| 450 13 3,73 3,58 3,77 3,69 3,63 4,00 3,55 3,72 2,87 3,00 2,70 2,85 3,75 3,90 3,72 3,79 3,93 4,00 5,00 15 4,00 4,06 3,80 3,95 3,82 3,80 3,29 3,63 2,94 3,45 2,93 3,10 3,48 3,34 3,46 3,42 3,84 3,51 3,78 900 13 3,81 3,79 4,20 3,93 3,83 3,79 4,00 3,98 2,92 2,74 3,40 3,02 3,59 4,00 4,12 3,90 3,32 3,56 3,45 3,45  | • | 006     | 13 | 3,11<br>3,63 | 3,54<br>3,58 |              |        | 2,73         | 3,30         | 3,28<br>3,52 | 3,10         | 2,73<br>2,88 | 2,50             | 2,80   | 2,67<br>2,55 | 3,81         |              |              | 3,48     | 3,70<br>3,10 | 3,48            | 3,60   | 3,59<br>3,27 |
| 900 13 3,81 3,79 4,20 3,93 3,83 3,79 4,00 3,87 3,10 3,10 3,20 3,13 4,45 3,93 3,80 4,06 4,00 4,10 4,13 15 4,15 4,00 3,69 3,94 4,05 3,89 4,00 3,98 2,92 2,74 3,40 3,02 3,59 4,00 4,12 3,90 3,32 3,56 3,45   | · | 450     | 13 | 3,73         | 3,58         | 3,77         |        | 3,63<br>3,82 | 4,00<br>3,80 | 3,55         | 3,72         | 2,87<br>2,94 | 3,00             | 2,70   | 2,85         | 3,75         |              | 3,72         |          | 3,93         | 4,00            | 5,00   | 4,31<br>3,71 |
|   | ` | 006     | 13 | 3,81<br>4,15 | 3,79         |              | m m    | 3,83         | 3,79<br>3,89 |              | 3,87         | 3,10<br>2,92 | 3,10             | 3,20   |              |              |              |              |          |              |                 | 4,13   | 3,44         |

QUADRO 45 - Análise da variância do esticamento das celuloses

| Font  | te de Variação        | $\operatorname{GL}$   | Quadrados Médios |
|-------|-----------------------|---|------------------|
|       | Grau Schopper Riegler | 2   | 22,9832*         |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4   | 4,226650**       |
| 25°sr | Álcali ativo (A)      | 1   | 0,000041         |
|       | Fator H (F)           | 1   | 0,049880         |
|       | Interação Cx A        | 4   | 0,520287**       |
|       | Interação Cx F        | 4   | 0,505385**       |
|       | Interação AxF         | l   | 0,029479         |
|       | Interação Cx Ax F     | 4   | 0,050785         |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4   | 2,259210**       |
|       | Alcali ativo (A)      | 1   | 0,061441         |
| SR    | Fator H (F)           | 1   | 0,088169         |
| 40°s  | Interação Cx A        | 4   | 0,277810*        |
| 4     | Interação CxF         | $\mathcal{L}_{\!$ | 0,177787         |
|       | Interação AxF         | 1   | 0,000540         |
|       | Interação Cx Ax F     | 4.  | 0,111344         |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4   | 1,594610**       |
|       | Alcali ativo (A)      | 1   | 0,250911         |
| Lt;   | Fator H (F)           | 1   | 0,190407         |
| 5 ध्य | Interação CxA         | 4   | 0,275536*        |
| 77    | Interação Cx F        | 4   | 0,172260         |
|       | Interação AxF         | 1   | 0,006406         |
|       | Interação Cx Ax F     | 4   | 0,049819         |
| Erro  |                       | 120   | 0,09780          |
| C.V.  | = 10,09%              |   |                  |

Significativo, ao nível de 1% de probabilidade. Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

ŀ

QUADRO 46 - Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo(A) sobre o esticamento, para 25 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx A

| Fonte      | de Var | riaçã | )                  | GL  | Quadrados Médios  |
|------------|--------|-------|--------------------|-----|-------------------|
| Forma      | de cav | racos | (C)/A <sub>7</sub> | 4   | 2 <b>,</b> 9699** |
| Forma      | de cav | acos  | (C)/A <sub>2</sub> | 4   | 1,7769**          |
| Alcali     | ativo  | (A)   | \c^1               | 1   | 0,2730            |
| ŧt         | ff     | 79    | /c <sup>2</sup>    | 1   | 0,1976            |
| ***        | 71     | 11    | /c <sup>3</sup>    | 1   | 0,3640            |
| 11         | 19     | 11    | /c <sub>4</sub>    | 1   | 0,4144*           |
| <b>; t</b> | 11     | н     | /c <sub>5</sub>    | 1   | 0,8321**          |
| Erro       |        |       |                    | 120 | 0,09780           |
|            |        |       |                    |     |                   |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 47 - Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A) sobre o esticamento, a 25 graus Schopper Riegler

|                  |                               | For              | ma de Cav        | acos               |         |
|------------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|---------|
| Alcali Ativo (A) | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragen<br>grossa | Fitas   |
| 13               | 2,69 ab*                      | 2 <b>,</b> 50 b  | 1,28 c           | 2,55 b             | 3,18 a  |
| 15               | 3,00 a                        | 2,76 a           | 1,63 c           | 2,18 b             | 2,66 ab |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade , pelo teste de Tukey.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 48 - Efeito de forma de cavacos (C) e fator H (F) sobre o esticamento, para 25 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx F

| Fonte | e de Varia | ção                   | GL  | Quadrados Médios |  |
|-------|------------|-----------------------|-----|------------------|--|
| Forma | a de cavac | os (C)/F <sub>7</sub> | 4   | 3,4316**         |  |
| Forma | de cavac   | os (C)/F <sub>2</sub> | 4   | 1,2894**         |  |
| Fator | ен (F)     | /c <sub>1</sub>       | 1   | 0,0752           |  |
| 11    | 11 11      | /c <sub>2</sub>       | 1   | 0,5376*          |  |
| 11    | n n        | /c <sub>3</sub>       | 1   | 0,8269**         |  |
| 11    | 11 11      | /c <sub>4</sub>       | 1   | 0,0060           |  |
| ti    | 11 11      | /c <sub>5</sub>       | 1.  | 0,6119*          |  |
| Erro  |            |                       | 120 | 0,0978           |  |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 49 - Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F), sobre o esticamento para 25 graus Schopper Riegler

|             |                               | For              | ma de Cav        | acos               | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · |
|-------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Fator H (F) | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos | Sorragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas                                 |
| 450         | 2,92 a*                       | 2,42 b           | 1 <b>,</b> 19 c  | 2,39 b             | 3,14 a                                |
| 900         | 2,77 a                        | 2,84 a           | 1,72 c           | 2,34 b             | 2,69 ab                               |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 50 - Efeito de forma de cavacos (C),e de álcali ativo (A) sobre o esticamento, para 40 graus Schopper Riegler de acordo com o desdobramento da interação CxA

| Fonte      | de Vai | riação        |                    | GL  | Quadrados Médios |  |  |
|------------|--------|---------------|--------------------|-----|------------------|--|--|
| Forma      | de cav | <i>r</i> acos | (C)/A <sub>1</sub> | 4   | 1,6059**         |  |  |
| Forma      | de cav | acos          | (c)/A <sub>2</sub> | 4   | 0,9310**         |  |  |
| Alcali     | ativo  | (A)           | /c <sub>1</sub>    | 1   | 0,0494           |  |  |
| <b>11</b>  | 11     | 7 <b>3</b>    | /c <sub>2</sub>    | 1   | 0,1776           |  |  |
| tt         | FF     | 11            | /c <sup>3</sup>    | 1   | 0,0176           |  |  |
| 11         | 11     | 11            | /c <sub>4</sub>    | l   | 0,2700           |  |  |
| <b>7 2</b> | 11     | !!            | /c <sub>5</sub>    | i   | 0,6580**         |  |  |
| Erro       |        |               |                    | 120 | 0,0978           |  |  |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 51 - Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A) sobre o esticamento, para 40 graus Schopper Riegler

|                  |                               | Forma de Cavacos |                  |                    |        |  |  |  |
|------------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|--------|--|--|--|
| Alcali Ativo (A) | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas  |  |  |  |
| 13               | 3,34 ab*                      | 3,10 b           | 2 <b>,</b> 40 c  | 3,41 ab            | 3,80 a |  |  |  |
| 15               | 3,46 a                        | 3,34 а           | 2,48 b           | 3,11 a             | 3,33 a |  |  |  |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 52 - Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A) sobre o esticamento, para 55 graus Schopper Riegler de acordo com o desdobramento da interação Cx A

| Fonte  | de Vai | riação | )                  | GL  | Quadrados Médios |  |
|--------|--------|--------|--------------------|-----|------------------|--|
|        |        |        | (C)/A <sub>1</sub> | 4   | 1,1833**         |  |
| Forma  | de car | 7acos  | (C)/A <sub>2</sub> | 4   | 0,6868**         |  |
| Alcali | ativo  | (A)    | /c <sub>1</sub>    | 1   | 0,0560           |  |
| Ц      | ff     | 11     | /c <sub>2</sub>    | 1   | 0,0002           |  |
| ŧŧ     | ***    | 11     | /c <sub>3</sub>    | 1   | 0,0140           |  |
| 17     | 11     | 11     | /c <sub>4</sub>    | 1   | 0,2028           |  |
| 11     | 7.1    | 11     | /c <sub>5</sub>    | 1   | 1,0800**         |  |
| Erro   |        |        |                    | 120 | 0,0978           |  |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 53 - Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A) sobre o esticamento, para 55 graus Schopper Riegler

|                  | Forma de Cavacos              |                  |                  |                    |        |  |  |  |
|------------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|--------|--|--|--|
| Alcali Ativo (A) | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas  |  |  |  |
| 13               | 3,81 a*                       | 3,80 a           | 2 <b>,</b> 99 b  | 3,92 a             | 4,17 a |  |  |  |
| 15               | 3,95 a                        | 3,80 a           | 3,06 b           | 3,66 a             | 3,57 a |  |  |  |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade , pelo teste de Tukey.

### 4.4.5. Densidade aparente

Os valores da densidade aparente das celuloses, expressos em g/cm<sup>3</sup>, bem como suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 54 a 62.

A análise da variância para a densidade aparente das celuloses, apresentada no Quadro 55, mostrou efeito significativo (P<0,01) da forma de cavacos nos três níveis de grau de refino considerados. No grau de refino 25°SR, observou-se também efeito significativo (P<0,05) do álcali ativo sobre a densidade aparente. Em todos os graus de refino pré-estabe lecidos, ocorreu pelo menos uma interação significativa, aos níveis de significância adotados. No início do refino, notou-se maior variação dos dados entre os tratamentos. O fenômeno é facilmente explicado, pelas dificuldades em colapsar, que as fibras dos diferentes tipos de cavacos apresentavam. Nos níveis de refino mais elevados, as polpas tendiam a ter suas densidades mais igualadas, embora continuassem a ocorrer diferenças entre alguns tratamentos.

Inicialmente, em baixos graus de refino, as celuloses de serragens mostravam as menores densidades aparentes, enquanto as celuloses de cavacos convencionais e fitas mostravam as maiores. A 40°SR, apenas as celuloses de serragem fina apresentavam densidades aparentes inferiores às demais, que se equivaliam para esse parâmetro. A 55°SR, as celuloses de fitas e de serragem grossa desenvolveram maior habilidade de se compactarem, resultando em celuloses com maiores densidades aparentes.

A 25°SR, frente à maior variação dos dados, encontraram-se diversas interações duplas e a tripla significativas. O desdobramento da interação tripla, para 25°SR, está apresentado no Quadro 56. Esse permitiu verificar que:

- a) a forma dos cavacos exercia influência significativa (P < 0,01) sobre a densidade aparente das celuloses, dentro das combinações de álcali ativo e fator H estudados.
- b) o álcali ativo mostrava efeito significativo sobre a densidade aparente, para as celuloses de serragem grossa, obtidas ao fator H 900, e para as celuloses de fitas, também obtidas ao fator H 900. Em ambos os casos, o aumento do álcali ativo resultou em diminuição da densidade aparente. É bem sabido, que em casos de dosagens elevadas de álcali na deslignificação, ocorre maior remoção de hemiceluloses. Essas, que auxiliam na refinação devido sua plasticidade, quando são removidas em maior proporção, dão como resultado, polpas mais volumosas, com menores densidades aparentes.
- c) o fator H mostrou efeito significativo (P < 0,01) sobre a densidade aparente para as celuloses obtidas de serragem grossa, aos dois níveis de álcali ativo. No álcali ativo de 13%, o aumento do fator H provocava um aumento da densidade aparente. Por outro lado, no álcali ativo 15%, o aumento do fator H provocou diminuição da densidade aparente.

O fator H mostrou também efeito significativo (P < 0,05) para as celuloses de fitas obtidas a 15% de álcali ativo. Também aqui, o aumento do fator H provocou diminuição da densidade aparente.

A 40°SR apenas uma interação dupla álcali ativo x fator H mostrou-se significativa. O desdobramento dessa interação foi apresentado no Quadro 59. Notou-se que o álcali ativo influenciou a densidade aparente das celuloses obtidas com fator H 450 (P < 0,05). Verificou-se também, que o fator H exercia efeito significativo (P < 0,01) sobre as celuloses obtidas com 13% de álcali ativo. No primeiro caso, o aumento do álcali ativo provocou um aumento da densidade aparente (de 0,59 para 0,60); enquanto que no segundo, o aumento do

fator H resultou também em idêntico aumento.

A 55°SR, apenas a interação forma de cavacos  $\pi$  fator H mostrou-se significativa (P < 0,01). Seu desdobramento está mostrado no Quadro 61. Observou-se, que a forma dos cavacos exerceu influência significativa (P < 0,01) sobre a densidade aparente, independente do nível de fator H. Por outro lado, o fator H somente exerceu efeito significativo (P < 0,01) no caso das celuloses obtidas de serragem grossa. Nesse caso, o aumento do fator H de 450 para 900, resultou em um aumento da densidade aparente de 0,62 para 0,67 g/cm<sup>3</sup>.

Repetição/ média 09 0 0,56 0,52 0,62 0,63 0,65 0,53 99.0 99,0 0,69 0,60 Fitas 09'0 0,59 69,0 0,57 0,54 0,64 0,63 . 0,63 0,58 0,67 99'0 23 0,67 0,60 0,55 0,60 0,59 0,57 0,65 0,64 **.** 9,65 0,67 99 0 0,67 0,65 0,51 0,52 0,46 0,59 95,0 0,62 0,64 0,63 09,0 0,64 0,68 0,67 Serragem Grossa Repetição/média 95,0 0,48 0,63 0,55 0,57 190 99,0 0,62 0,59 ÷ 0,64 69.0 0,67 0,52 0,59 0,58 0,42 95.0 0,63 0,64 69,0 0,59 0,68 2 6940 0,67 0,45 0,51 0,56 0,43 0,63 0,62 ā 0,57 0,64 0,64 0,65 79°0 0,67 0,50 0,50 0,49 0,50 0,57 0,57 0,57 0,57 0,63 0,62 0,61 0,63 Forma de Cavacos Repetição/média 0,49 0,50 0,53 0,50 0,57 0,58 0,57 0,65 **\*** 0,62 0,62 0,62 Serragem 0,49 0,49 0,51 0,51 0,58 0,56 0,58 0,64 0,59 19,0 2 0,63 0,51 0,52 0,47 0,50 0,57 0,58 0,58 09,0 0,57 0,63 0,62 \* 0,65 CLAME 54 - Valores de densidade aparente das celuloses a 25, 40 e 55°GR 0,55 0,55 0,55 0,56 0,58 09,0 09,0 0,62 0,62 0,63 0,62 . 0,63 I۲ Repetição/média Mini-cavacos 0,52 0,54 95,0 0,64 0,59 0,57 0,62 09,60 0,63 0,61 0,63 0,56 0,57 0,56 0,59 09,0 0,57 0,61 0,61 0,62 0,64 0,63 0,64 2 0,58 0,55 0,54 0,59 0,53 1940 0,59 09.0 0,64 0,61 0,61 7 0,64 95,0 0,58 09,0 Cavacos Convencionals 0,57 0,56 0,61 0,62 0,61 0,63 6940 0,64 0,63 Iы Repetição/média 0,58 0,58 0,58 0,53 09 0 0,61 0,62 0,61 0,64 0,62 0,65 30 0,63 0,56 0,59 0,59 0,59 0,61 19'0 0,62 0,64 0,62 0,64 0,64 5 0,64 94'0 0,53 0,55 0,58 09,0 0,60 0,62 • 0,62 0,62 0,65 0,63 0,63 Alcali Ativo 13 15 13 5 13 13 7 15 13 15 Fator H (F) 900 450 450 900 450 900 65.0 6.53 2 40 55

0,58 0,53

0,53 0,54 0,63 6,63 0,63 0,60 99.0 99 0

0,67 0,61

QUADRO 55 - Análise da variância da densidade aparente celuloses

| Font  | e de Variação         | GL  | Quadrados Médios |
|-------|-----------------------|-----|------------------|
|       | Grau Schopper Riegler | 2   | 0,134700**       |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4   | 0,011930**       |
|       | Alcali ativo (A)      | 1   | 0,002281*        |
| SR    | Fator H (F)           | 1   | 0,000081         |
| 25%   | Interação Cx A        | 4   | 0,001852**       |
| CVI   | Interação Cx F        | 4.  | 0,000485         |
|       | Interação Ax F        | 1   | 0,005041**       |
|       | Interação Cx Ax F     | 4   | 0,002804**       |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4   | 0,005005**       |
|       | Alcali ativo (A)      | 1   | 0,000239         |
| 뜨     | Fator H (F)           | 1   | 0,000959         |
| 40°SR | Interação Cx A        | 4   | 0,000769         |
| 4     | Interação CxF         | 4   | 0,001214         |
|       | Interação AxF         | 1   | 0,002939*        |
|       | Interação Cx Ax F     | 4   | 0,000444         |
|       | Forma de cavacos (C)  | 4   | 0,002294**       |
|       | Alcali ativo (A)      | 1   | 0,000006         |
| ೧ಚ    | Fator H (F)           | 1   | 0,000806         |
| 5°3R  | Interação CxA         | 4   | 0,001110         |
| 55    | Interação CxF         | 4   | 0,001802**       |
|       | Interação Ax F        | 1   | 0,000959         |
|       | Interação CxAxF       | 4   | 0,000989         |
| Erro  |                       | 120 | 0,000496         |
| C.V.  | = 3,74%               |     |                  |

Significativo, ao nível de 1% de probabilidade. Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

i

QUADRO 56 - Efeito da forma de cavacos (C), álcali ativo (A) e fator H (F) sobre a densidade aparente, para 25 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdo bramento da interação CxAxF

| Fonte      | e de V    | ariação |                                   | GL  | Quadrados Médios    |
|------------|-----------|---------|-----------------------------------|-----|---------------------|
| Form       | a de c    | avacos  | (C)/A <sub>7</sub> F <sub>7</sub> | 4   | 0,003500**          |
| 11         | 11        | 11      | "/A <sub>1</sub> F <sub>2</sub>   | 4   | 0,004100**          |
| FT         | 11        | 11      | "/A <sub>2</sub> F <sub>1</sub>   | 4   | 0,003900**          |
| 11         | 13        | 11      | "/A <sub>2</sub> F <sub>2</sub>   | 4   | 0,005500**          |
| Alcai      | li ati    | vo (A)  | /C <sub>1</sub> F <sub>1</sub>    | 1   | 0,000300            |
| ţţ         | ît        | 11      | /C <sub>1</sub> F <sub>2</sub>    | 1   | 0,000060            |
| 11         | ft        | fi      | /c <sub>2</sub> F <sub>1</sub>    | 1   | 0,000030            |
| 53         | 11        | 11      | /c <sub>2</sub> F <sub>2</sub>    | 1.  | 0,000060            |
| 11         | н         | 11      | /0 <sub>3</sub> F <sub>1</sub>    | 1   | 0,000100            |
| 11         | †1        | 7.0     | /C <sub>3</sub> F <sub>2</sub>    | 1   | 0,000006            |
| 11         | 17        | :1      | /c <sub>4</sub> F <sub>1</sub>    | 1   | 0,000400            |
| 5 <b>t</b> | 11        | 11      | /c <sub>4</sub> F <sub>2</sub>    | 1   | 0,022800**          |
| Li         | <b>? </b> | 18      | /c <sub>5</sub> F <sub>1</sub>    | 1   | 0,00000             |
| 11         | 11        | 71      | /c <sub>5</sub> F <sub>2</sub>    | 1   | 0,002000*           |
| Fator      | с н (г    | )       | /c <sub>1</sub> A <sub>1</sub>    | 1   | 0,000060            |
| 11         | 11 11     |         | /c <sub>1</sub> A <sub>2</sub>    | 1   | 0,000400            |
| H          | ft It     |         | /c <sub>2</sub> A <sub>1</sub>    | 1   | 0,000100            |
| 11         | 17 ; ;    |         | /C2A2                             | 1   | 0,000100            |
| 11         | 11 11     |         | /c <sub>3</sub> A <sub>1</sub>    | 1   | 0,000100            |
| 11         | ř! 1t     |         | $/c_3^A_2$                        | 1   | 0,000030            |
| 11         | 17 11     |         | /c <sub>4</sub> A <sub>1</sub>    | 1   | 0 <b>,</b> 009600*: |
| 11         | 11 11     |         | /C <sub>4</sub> A <sub>2</sub>    | 1   | 0,005400**          |
| 17         | 11 11     |         | /c <sub>5</sub> A <sub>1</sub>    | 1   | 0 <b>,00</b> 0030   |
| <b>f</b> † | 99 F9     |         | /c <sub>5</sub> A <sub>2</sub>    | l   | 0,002400*           |
| Erro       |           |         |                                   | 120 | 0,000496            |

<sup>\*\*</sup> Significativo, co nível de 1% de probabilidade.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 57 - Efeito de forma de cavacos (C), dentro das combinações entre os níveis de álcali ativo (A) e fator H (F), sobre a densidade aparente, para 25 graus Schopper Riegler

| Alcali Ativo (A)                                       |                               | For              | ma de Cava       | .cos               |         |
|--|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|---------|
| Fator H (F)  | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas   |
| $^{\mathrm{A}}$ 1 $^{\mathrm{F}}$ 1                    | 0,56 a*                       | 0,55 ab          | 0,50 b           | 0,51 b             | 0,58 a  |
| $^{\mathrm{A}}_{\mathrm{l}}^{\mathrm{F}}_{\mathrm{2}}$ | 0,57 a                        | 0,55 a           | 0,49 b           | 0,59 a             | 0,58 a  |
| $^{ m A}$ 2 $^{ m F}$ 1                                | 0,58 a                        | 0,55 ab          | 0,50 b           | 0,52 ъ             | 0,58 a  |
| <sup>A</sup> 2 <sup>F</sup> 2                          | 0,56 a                        | 0,56 a           | 0,50 bc          | 0,46 c             | 0,54 ab |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 58 - Efeito de forma de cavacos (C) sobre a densidade aparente para 40 graus Schopper Riegler

|                          | Forma            | de Cavacos       |                    |                 |
|--------------------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Cavacos<br>convencionais | Hini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas           |
| 0,61 a*                  | 0,60 a           | 0,57 b           | 0,61 a             | 0 <b>,</b> 62 a |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 59 - Efeito do álcali ativo (A) e de fator H (F) sobre a densidade aparente, para 40 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Ax F

| Fonte de Variação                           | GL      | Quadrados Médios       |
|---|---------|------------------------|
| Alcali ativo (A)/F <sub>1</sub>             | 1<br>1. | 0,002500*<br>0,000700  |
| Fator H (F) /A <sub>1</sub> /A <sub>2</sub> | 1<br>1. | 0,003600**<br>0,000300 |
| Erro  | 120     | 0,000496               |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 60 - Efeito de álcali ativo (A) e do fator H (F) sobre a densidade aparente, para 40 graus Schopper Riegler

| Fator H (F) | Alcali A | tivo (A) |
|-------------|----------|----------|
|             | 13       | 15       |
| 450         | 0,59 bB* | 0,61 aA  |
| 900         | 0,61 aA  | 0,60 aA  |

<sup>\*</sup> Os tratamentos seguidos pela mesma letra, não diferem esta tisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. As letras minúsculas comparam o álcali ativo dentro do fator H, enquanto as maiúsculas comparam o fator H dentro do álcali ativo.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 61 - Efeito de forma de cavacos (C),e de fator H (F) sobre a densidade aparente, para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx F

| Fonte | e de | Variaçã | io                   | CL  | Quadrados Médios |
|-------|------|---------|----------------------|-----|------------------|
| Forms | a de | cavacos | c (C)/F <sub>7</sub> | 4   | 0,006400**       |
| #1    | 11   | ***     | " /F <sub>2</sub>    | 4   | 0,010000**       |
| Fator | c H  | (F)     | /c <sub>1</sub>      | 1   | 0,000010         |
| F†    | 11   | H       | /c <sub>2</sub>      | 1   | 0,000100         |
| 11    | 11   | 1)      | /c <sub>3</sub>      | 1   | 0,000030         |
| 11    | 11   | 1)      | /c <sub>4</sub>      | ı   | 0,007000**       |
| Ħ     | 11   | fi      | /c <sub>5</sub>      | 1   | 0,000800         |
| Erro  |      |         |                      | 120 | 0,000496         |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 62 - Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F) sobre a densidade aparente, para 55 graus Schopper Riegler

|             |                               | For              | ma de Cava       | cos                | <del></del> |
|-------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------|
| Fator H (F) | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas       |
| 450         | 0,63 ab*                      | 0,62 b           | 0,62 в           | 0,62 b             | 0,66 a      |
| 900         | 0,63 h                        | 0,63 b           | 0,62 b           | 0,67 a             | 0,64 ab     |

ļ

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra, em cada linha, não di ferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade , pelo teste de Tukey.

## 4.4.6. Volume específico aparente

Os valores do volume específico aparente das celuloses, expressos em  ${\rm cm}^3/{\rm g}$ , e suas análises estatísticas, estão apresentados nos Quadros 63 a 69.

A análise da variância para o volume específico aparente das celuloses, apresentada no Quadro 64, mostrou que e xistia efeito significativo (P<0,01) para os fatores: grau Schopper Riegler e forma de cavacos para os graus de refino 25 e 40°SR. No grau de refino de 25°SR, observou-se também e feito significativo (P 0,05) do álcali ativo sobre o volume específico aparente. Nos graus de refino de 25 e 40°SR, foram detectadas pelo menos uma interação significativa aos níveis de significância adotados. No início do refino, notou-se maior variação dos dados entre os tratamentos. Ao nível de refino mais elevado, 55°SR, as polpas passaram a mos trar volumes específicos semelhantes, em razão das fibras se colapsarem e se inter-ligarem melhor.

A 25°SR, as celuloses de serragens mostravam os maiores volumes específicos aparentes, enquanto as celuloses de cavacos convencionais e de fitas, os menores (Quadro 66). A 40°SR, os volumes específicos aparentes tendiam a se homogenizar. Apenas as celuloses de serragem fina mantinham valores mais baixos que os demais tratamentos (Quadro 69). A 55°SR, as celuloses mostraram todas, equivalência entre os resultados de volume específico aparente.

Foram observados apenas ligeiros efeitos do álcali ativo e do fator H sobre o volume específico aparente.

)

O álcali ativo só mostrou efeito significativo (P<0,01) para as celuloses a 25°SR e obtidas de serragem grossa a fator H 300. Quando o álcali ativo era aumentado de 13 para 15%, o volume específico aparente aumentava de 1,69

para 2,16 cm<sup>3</sup>/g.

O fator H mostrou-se um parâmetro um pouco mais efet<u>i</u> vo sobre o volume específico aparente. Entretanto, seu efeito foi notado a 25°SM apenas para as celuloses produzidas a partir de serragem grossa. Ao álcali ativo de 13%, o aumento do fator H resultava em diminuição do volume específico aparente. Ao álcali ativo de 15%, ocorria o contrário.

Já a 40°SR, a interação álcali ativo x fator H mestrou-se significativa (P<[0,05). O desdobramento dessa interação no Quadro 6′, mostrou que o fator H, dentro do nível 13% de álcali ativo, influenciava significativamente o volume específico aparente das celuloses. Com o aumento do fator H, o volume específico aparente decresceu.

QUADRO 63 - Valores do volume específico sparente das celuloses a 25, 40 e 55°SR

| SR Fator H (F) 450 |                       |         |              |                  |       |      |                  |              |      |              |                  |              |              |              |          |                 |              |          |                  |              |      |
|--------------------|-----------------------|---------|--------------|------------------|-------|------|------------------|--------------|------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|----------|-----------------|--------------|----------|------------------|--------------|------|
| ne                 | Alcali                | Сатасов | į.           | Convenctonals    | onais |      | Mini-c           | Mini-cavacos |      | S            | Serragem         | m Fina       | ន            | Se           | Serragem | Grossa          | 98           |          | Pi               | Pitas        |      |
| 450                | At1V0<br>(A)          | Re      | petiçã       | Repetição/ média | 1a    | Re   | Repetição/ média | o/ méđ       | 1a   | .Re          | Repetição/ média | o/méd        | İa           | Re           | petiçã   | Repetição/média | 18           | Re       | Repetição/ média | io/mé        | lia  |
|                    |                       | 1.      | 28           | 38               | ıĸ    | 7.8  | 24               | *            | ı×   | and l        | 29               | 30           | ıM           | 1            | 28       | 38              | ı⊭           | <b>.</b> | 26               | *            | ı×ı  |
|                    | 13                    | 1,78    | 1,79         | 1,72             | 1,76  | 1,84 | 1,76<br>1,79     | 1,85         | 1,81 | 1,92<br>1,96 | 1,94             | 2,04         | 1,96         | 2,21<br>1,95 | 1,90     | 1,77            | 1,96         | 1,80     | 1,67             | 1,67         | 1,71 |
|                    | 13                    | 1,82    | 1,70         | 1,72             | 1,74  | 1,83 | 1,78             | 1,78         | 1,79 | 2,10<br>2,01 | 2,04             | 1,89         | 2,01<br>1,98 | 1,77         | 1,72     | 1,59<br>1,81    | 1,69<br>2,16 | 1,70     | 1,70<br>1,85     | 1,76         | 1,72 |
| 450                | <b>13</b>             | 1,67    | 1,63         | 1,65             | 1,65  | 1,70 | 1,68<br>1,66     | 1,75         | 1,71 | 1,75         | 1,73             | 1,76         | 1,74         | 1,75         | 1,78     | 1,75<br>1,63    | 1,76         | 1,54     | 1,55             | 1,62         | 1,57 |
| 900                | 13                    | 1,62    | 1,60         | 1,59             | 1,60  | 1,69 | 1,63<br>1,62     | 1,64         | 1,65 | 1,70<br>1,76 | 1,78             | 1,72         | 1,73<br>1,75 | 1,60         | 1,57     | 1,50            | 1,55         | 1,58     | 1,57             | 1,53         | 1,56 |
| 450                | 13                    | 1,62    | 1,56         | 1,56             | 1,58  | 1,65 | 1,62             | 1,56         | 1,61 | 1,67         | 1,56             | 1,54         | 1,59         | 1,57         | 1,68     | 1,68<br>1,56    | 1,64         | 1,49     | 1,49             | 1,51<br>1,51 | 1,49 |
| 900                | 13<br><sup>c</sup> 15 | 1,58    | 1,56<br>1,56 | 1,54             | 1,56  | 1,62 | 1,57             | 1,58         | 1,59 | 1,60         | 1,69             | 1,61<br>1,61 | 1,63<br>1,57 | 1,50         | 1,47     | 1,44            | 1,47         | 1,48     | 1,49             | 1,45         | 1,47 |

QUADRO 64 - Análise da variância do volume específico aparente das celuloses

| Font        | te de Variação        | GL              | Quadrados Médios |
|-------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| ***         | Grau Schopper Riegler | 2               | 1,221300**       |
|             | Forma de cavacos (C)  | 4               | 0,149700*        |
|             | Alcali ativo (A)      | 1               | 0,033600*        |
| 띺           | Fator H (F)           | 1               | 0,002400         |
| 25°SR       | Interação Cx A        | 4               | 0,026300**       |
| Ċ١          | Interação Cx F        | 4.              | 0,003900         |
|             | Interação Ax F        | 1               | 0,060100**       |
|             | Interação CxAxF       | 4.              | 0,039600**       |
|             | Forma de cavacos (C)  | 4               | 0,041800**       |
|             | Aleali ativo (A)      | 1.              | 0,001800         |
| ਖ਼ੁੱ        | Fator H (F)           | l               | 0,010400         |
| 40°SR       | Interação Cx A        | 4               | 0,006100         |
| 4           | Interação Cx P        | 4               | 0,009700         |
|             | Interação AxF         | 1               | 0,023600*        |
| <del></del> | Interação Cx Ax F     | 4.              | 0,002900         |
|             | Forma de cavacos (C)  | 4               | 0,012700         |
|             | Alcali ativo (A)      | 1               | 0,000001         |
| (H          | Fator H (F)           | 1               | 0,007000         |
| 550         | Interação Cx A        | $\mathcal{L}_r$ | 0,006100         |
|             | Interação CxF         | 4               | 0,010700         |
|             | Interação AxF         | 1               | 0,004300         |
|             | Interação Cx Ax F     | Z <sub>r</sub>  | 0,005200         |
| rro         |                       | 120             | 0,005360         |
| . V.        | = 4,35%               |                 |                  |

Significativo, ao nível de 1% de probabilidade. Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 65 - Efeito de forma de cavacos (C), de álcali ativo (A) e de fator H (F) sobre o volume específico a parente para 25 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx Ax F

| Fonte     | de V     | Variação | )                                 | GL  | Quadrados Médios |
|-----------|----------|----------|-----------------------------------|-----|------------------|
| Forma     | de c     | avacos   | (C)/A <sub>1</sub> F <sub>1</sub> | 4   | 0,039600**       |
| 13        | н        | 78       | "/A <sub>l</sub> F <sub>2</sub>   | 4   | 0,048400**       |
| 11        | 11       | 7.0      | $^{"}/_{A_{2}}F_{1}$              | 4   | 0,048900**       |
| F7        | 11       | !1       | $^{"}/A_{2}^{F_{2}}$              | 4   | 0,082800**       |
| Alcal:    | i ati    | Lvo (A)  | /C <sub>7</sub> F <sub>7</sub>    | 1   | 0,003700         |
| 11        | 7        | 1 :1     | /c <sub>1</sub> F <sub>2</sub>    | 1   | 0,000800         |
| t†        | ţ        | t ii     | /c <sub>2</sub> F <sub>1</sub>    | 1   | 0,000060         |
| "         | ï        | , ,,     | /c <sub>2</sub> F <sub>2</sub>    | 1   | 0,000600         |
| 11        | 11       | 1 11     | /c <sub>3</sub> F <sub>1</sub>    | 1   | 0,001700         |
| n         | \$1      | 7 11     | /c <sub>3</sub> F <sub>2</sub>    | 1   | 0,001400         |
| 11        | H        | 1 ??     | /c <sub>4</sub> F <sub>7</sub>    | 1   | 0,003800         |
| 11        | 71       | 11       | /C <sub>4</sub> F <sub>2</sub>    | 1   | 0,326700**       |
| 11        | ti       | 17       | /c <sub>5</sub> F <sub>1</sub>    | 1   | 0,000160         |
| 11        | ŧ1       | t 19     | /c <sub>5</sub> F <sub>2</sub>    | l   | 0,019300         |
| Fator     | н (в     | · )      | /c <sub>l</sub> A <sub>l</sub>    | 1   | 0,000400         |
| <b>,1</b> | řt 11    | 1        | /clas                             | 1   | 0,004800         |
| Ħ         | 7.5 . 11 | 1        | /c <sub>2</sub> A <sub>1</sub>    | 1.  | 0,000600         |
| tt        | 11 - 11  | •        | /c <sub>2</sub> A <sub>2</sub>    | 1   | 0,002000         |
| 11        | 11 :1    | 1        | /c <sub>3</sub> A <sub>1</sub>    | 1   | 0,002800         |
| T#        | 11 11    | 1        | /c <sub>3</sub> A <sub>2</sub>    | 1   | 0,000600         |
| 11        | 11 11    | ı        | /c <sub>4</sub> A <sub>1</sub>    | 1   | 0,106700**       |
| 19        | ii 71    | •        | /c <sub>4</sub> A <sub>2</sub>    | 1   | 0,093800**       |
| fi        | 11 :1    | ,        | /c <sub>5</sub> A <sub>1</sub>    | 1   | 0,000100         |
| 11        | 11 11    | 1        | /c <sub>5</sub> A <sub>2</sub>    | 1   | 0,025300*        |
| Erro      |          |          |                                   | 120 | 0,005360         |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 66 - Efeito de forma de cavacos (C), dentro das combinações entre os níveis de álcali ativo (A) e fator H (F), sobre o volume específico aparente, para 25 graus Schopper Riegler

| Alcali Ativo (A)                                       |                               | Fc               | rma de Cav       | acos               |         |
|--|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|---------|
| Fator H (F)  | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Nini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas   |
| $^{\mathtt{A}}_{\mathtt{l}}^{\mathtt{F}}_{\mathtt{l}}$ | 1,76 b*                       | 1,81 ab          | 1,96 a           | 1,96 a             | 1,71 b  |
| $^{\mathrm{A}}$ l $^{\mathrm{F}}$ 2                    | 1,74 b                        | 1,79 b           | 2,01 a           | 1,69 b             | 1,72 b  |
| $^{\mathrm{A}}$ 2 $^{\mathrm{F}}$ 1                    | 1,71 c                        | 1,81 be          | 2,00 a           | 1,91 ab            | 1,70 c  |
| <sup>A</sup> 2 <sup>F</sup> 2                          | 1,77 c                        | 1,77 c           | 1,98 b           | 2,16 a             | 1,83 bc |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade , pelo teste de Tukey.

QUADRO 67 - Efeito de álcali ativo (A) e de fator H (F) sobre o volume específico aparente, para 40 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Ax F

| Fonte de Variação   | GL     | Quadrados Médios  |
|---|--------|-------------------|
| Alcali ativo (A)/F <sub>1</sub> Alcali ativo (A)/F <sub>2</sub> | 1      | 0,0192<br>0,0062  |
| Fator H (F) /A <sub>1</sub> Fator H (F) /A <sub>2</sub>         | 1<br>1 | 0,0327*<br>0,0013 |
| Erro  | 120    | 0,0054            |

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 68 - Efeito do álcali ativo (A) e do fator H (F) sobre o volume específico aparente, para 40 graus Schopper Riegler

| Fator H (F) | Alcali At | civo (A) |
|-------------|-----------|----------|
|             | 13        | 15       |
| 450         | 1,69 aA*  | 1,63 aA  |
| 900         | 1,62 aB   | 1,65 aA  |

<sup>\*</sup> Os tratamentos seguidos pela mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. As letras mimísculas comparam o álcali ativo dentro do fator H, enquanto as maiúsculas comparam o fator H dentro do álcali ativo.

QUADRO 69 - Efeito de forma de cavacos (C) sobre o volume es pecífico aparente, para 40 graus Schopper Riegler

|                          | Forma            | de Cavacos       |                    |        |
|--------------------------|------------------|------------------|--------------------|--------|
| Cavacos<br>convencionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas  |
| 1,62 b*                  | 1,65 b           | 1,74 a           | 1,62 b             | 1,58 b |

<sup>\*</sup> As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

## 4.4.7. Tempo de refino

Os valores relativos ao tempo de refino necessário para se atingir 25, 40 e  $55^{\circ}$ SR, expressos em minutos, bem como suas análises estatísticas, aparecem nos Quadros 70 a 81.

A análise da variância para o tempo de refino está apresentada no Quadro 71. Nesse é possível se verificar, que os fatores grau Schopper Riegler e forma de cavacos mostravam efeitos significativos (P < 0.01). A forma de cavacos mostrava-se significativa (P < 0.01) nos três níveis de refino considerados. A  $55^{\circ}$ SR, notou-se também efeito significativo (P < 0.01) do fator H sobre o tempo de refino.

Em todos os graus de refino pré-estabelecidos, ocorreu pelo menos uma interação significativa, aos níveis de significância adotados.

Dentre os diversos tipos de cavacos ensaiados, os de serragem fina foram os que conduziram às celuloses mais facilmente refinadas. A seguir e pela ordem, vieram as celuloses de serragem grossa, fitas, mini-cavacos e cavacos convenciocionais. Como se observa, as celuloses de cavacos convencionais foram as que demandaram maior tempo de refino para se atingir os graus de refino desejados.

A 25°SR, apenas a interação forma de cavacos x álcali ativo mostrou-se significativa (P < 0,01). O desdobramento, mostrado no Quadro 72, indicou efeito significativo(P<0,01) da forma de cavacos dentro dos dois níveis de álcali ativo. A influência do álcali ativo a 25°SR, ocorreu para as celulo ses de mini-cavacos (P<0,01) e de serragem grossa(P<0,05). Para as polpas de mini-cavacos, o aumento do álcali ativo resultou em maiores tempos de refino. No caso das celuloses de serragem grossa, ocorreu o oposto.

A 40°SR foram observadas duas interações significati-

vas (P < 0,05): Cx A e Cx F. O desdobramento da interação forma de cavacos x álcali ativo, Quadro 74, mostrou efeito significativo (P < 0,01) da forma de cavacos dentro dos dois níveis de álcali ativo. A influência do álcali ativo a  $40^{\circ}$  SR, ocorreu para as celuloses de serragem grossa (P < 0,01), onde se constatou que, o aumento do álcali ativo de 13% para 15%, reduzia o tempo de refino dessas celuloses. Para fator H, o desdobramento da interação forma de cavacos x fator H, Quadro 76, mostrou efeito significativo (P < 0,01) de forma de cavacos dentro dos dois níveis de fator H. A influência do fator H a  $40^{\circ}$ SR, ocorreu para as celuloses de fitas (P < 0,01), onde um aumento do fator H de 450 para 900, resultou em diminuição do tempo de refino para se atingir  $40^{\circ}$ SR.

A 55°SR, as interações Cx F e Ax F foram significativas (P < 0.05 e P < 0.01, respectivamente). O desdobramento da interação forma de cavacos x fator H, Quadro 78, indicou efeito significativo (P < 0.01) da forma de cavacos dentro dos dois níveis de fator H. A influência do fator H a 55°SR, ocorreu para as celuloses de serragem grossa e de fitas (P < 0.01). Para ambas as polpas, o aumento do fator H de 450 para 900, ocasionou em redução do tempo de refino para se atingir 55°SR.

Verifica-se no Quadro 80, um efeito significativo (P < 0,01) de álcali ativo apenas dentro do fator H 450. A influência do fator H a 55°SR, ocorreu para álcali ativo 15% (P < 0,01). Para este nível de álcali ativo, um aumento no fator H de 450 para 900 refletia em redução no tempo de refino, para se atingir 55°SR.

CEALES 70 - Valores dos tempos de refino necessários para se atingir 25, 40 e 55ºSR

|               |         |           |              |              |  |                       | j            |              |                  |              | ρ.,          | Forma de        | е Саувсов    | 800          |              |              |                 |              |              |                 |              |              |
|---------------|---------|-----------|--------------|--------------|--|-----------------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|
| 6<br>E 2<br>0 | Pator H | Attvo     | Cavac        | SOB CC       | onvenc                                     | Cavacos Convencionais |              | Mini-        | Mini-cavacos     |              |              | Serragem        | em Fina      | 13.8         | Ñ            | Serragem     | m Grossa        | 388          |              | F               | Fitas        |              |
|               | (P)     | 3         | Re           | pet198       | Repetição/ média                           | dia                   | Ŗ            | petici       | Repotição/ média | 118          | ř            | Repetição/média | ão/mé        | 118          | Ä            | epet19       | Repetição/média | 118          | - E          | Repetição/média | 30 / ne      | Jia          |
|               |         |           | -            | 28           | 38   | i#                    | 2            | 28           | ÷                | IH           | 1.           | 5₽              | *            | I×           | <b>‡</b>     | 28           | e.              | IM           | #            | 2.              | , n          | l×           |
| 25            | 450     | 13.<br>15 | 25,5         | 46,0<br>36,0 | 25,5 46,0 30,0 33,8<br>33,0 36,0 36,0 35,0 | 33,8<br>35,0          | 18,7         | 25,0<br>23,0 | 18,0<br>30,0     | 20,6         | 5,5          | 6,0             | 3,0          | 4,8          | 18,0         | 16,0         | 12,0<br>12,5    | 15,3         | 11,5         | 19,0            | 18,5         | 1 7 %        |
|               | C06     | 13        | 34,0         | 26,8<br>30,8 | 35,0<br>20,0                               | 31,9<br>31,4          | 20,0<br>35,5 | 18,0<br>31,0 | 27,0<br>39,0     | 21,7         | 6,1<br>5,0   | 10,3<br>7,0     | 12,3         | 9,6          | 26,5         | 12,5         | 9,0             | 22,7<br>8,3  | 20,2         | 15,0<br>16,0    | 10,2         | 15,1         |
| <b>4</b> 0    | 450     | 13        | 72,0         | 67,5         | 0,17                                       | 72,2<br>66,2          | 58,1<br>53,0 | 52,5<br>60,0 | 50,0<br>54,5     | 53,5<br>55,8 | 16,0<br>16,0 | 17,8            | 12,5<br>16,0 | 15,4<br>16,0 | 45,0<br>38,0 | 35,0<br>39,0 | 40,0            | 40,0<br>34,0 | 51,5<br>50,0 | 35,5<br>52,0    | 37,9<br>52,0 | 41,6<br>51,3 |
|               | 006     | 13        | 61,5<br>69,5 | 73,0         | 73,0 65,0<br>64,2 70,1                     | 66,5<br>67,9          | 49,5<br>59,0 | 58,0<br>62,5 | 58,0<br>52,2     | 55,2<br>57,9 | 19,0<br>15,0 | 20,0<br>16,3    | 20,1<br>15,0 | 19,7         | 46,5<br>26,0 | 26,0<br>24,5 | 50,0<br>24,5    | 40,8<br>25,0 | 44,5         | 31,0<br>32,0    | 27,0<br>38,0 | 34,2<br>34,4 |
| 55            | 450     | 13        | 92,5         | 78,0         | 94,5                                       | 88,3<br>88,0          | 71,2         | 0,77<br>97,0 | 63,5<br>82,5     | 70,6<br>90,2 | 30,0<br>34,0 | 30,0<br>27,0    | 27,5<br>29,0 | 29,2<br>30,0 | 70,0         | 0,66<br>0,69 | 57,2<br>69,0    | 64,4<br>69,7 | 69,5<br>65,0 | 52,0<br>67,2    | 56,0         | 59,2<br>66,1 |
|               | 006     | 13        | 93,0         | 95,0         | 75,5 87,<br>81,0 78,                       | 8 -                   | 62,5         | 89,0<br>78,0 | 95,0<br>78,0     | 82,2<br>77,2 | 30,0<br>30,0 | 30,0            | 27,0         | 29,0<br>27,5 | 59,0<br>63,5 | 51,0<br>49,0 | 64,0            | 58,0         | 61,5<br>51,0 | 44,0            | 41,0         | 48,8         |

QUADRO 71 - Análise da variância para tempo de refino das c $\underline{\mathbf{e}}$ luloses

| Font       | e de Variação         | GL  | Quadrados Médios |
|------------|-----------------------|-----|------------------|
| 711-5      | Grau Schopper Riegler | 2   | 27931,6000**     |
|            | Forma de cavacos (C)  | 4   | 1302,1800**      |
| •          | Alcali ativo (A)      | 1   | 2,0721           |
| SR         | Fator H (F)           | 1.  | 5,9847           |
| 25°S       | Interação Cx A        | 4   | 126,3750**       |
| <i>C</i> 1 | Interação Cx F        | 4   | 31,5709          |
|            | Interação AxF         | 1   | 28 <b>,</b> 4968 |
|            | Interação CxAxF       | 4   | 36,8873          |
|            | Forma de cavacos (C)  | 4   | 4680,1700**      |
|            | Alcali ativo (A)      | 1   | 34 <b>,</b> 3525 |
| œ          | Fator H (F)           | l   | 126,7310         |
| 40°SR      | Interação CxA         | 4.  | 110,4600*        |
| 4          | Interação CxF         | 4   | 100,3910*        |
|            | Interação AxF         | 1   | 39,5292          |
|            | Interação CxAxF       | 4   | 39,8762          |
| •          | Forma de cavacos (C)  | 4   | 6047,1400**      |
|            | Alcali ativo (A)      | 1   | 36,1920          |
| SR         | Fator H (F)           | 1   | 551,4590**       |
| 550        | Interação CxA         | 4   | 61,6754          |
| u,         | Interação Cx F        | 4   | 90,1030*         |
|            | Interação Ax F        | 1.  | 360,1500**       |
|            | Interação Cx Ax F     | 4   | 55,8535          |
| Erro       |                       | 120 | 35,4522          |
| C.V.       | = 14,28%              |     |                  |

Significativo, ao nível de 1% de probabilidade. Significativo, ao nível de 5% de probabilidade. \*\*

QUADRO 72 - Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo(A) sobre o tempo de refino necessário para 25 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx A

| Fonte          | de Vai | riação      | )   | GL               | Quadrados Médios                                       |
|----------------|--------|-------------|---|------------------|--|
|                |        |             | (C)/A <sub>1</sub><br>(C)/A <sub>2</sub>  | 4<br>4           | 520,4945**<br>908,0580**                               |
| Alcali " " " " | ativo  | (A) " " " " | /c <sub>1</sub> /c <sub>2</sub> /c <sub>3</sub> /c <sub>4</sub> /c <sub>5</sub> | 1<br>1<br>1<br>1 | 0,3330<br>307,5469**<br>11,4075<br>184,0832*<br>4,2008 |
| Erro           |        |             | · 5   | 120              | 35,4522  |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 73 - Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A) sobre o tempo de refino necessário para 25 graus Schopper Riegler

| Alcali Ativo |                               | For              | ma de Cav        | acos               |                 |
|--------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| (A)          | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas           |
| 13           | 32,9 a*                       | 21,1 b           | 7 <b>,</b> 2 c   | 19,0 b             | 15,7 bc         |
| 15           | 33,2 a                        | 31,2 a           | 5 <b>,</b> 2 c   | 11,2 bc            | 16 <b>,</b> 9 b |

<sup>\*</sup> As médias seguidas da mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

<sup>\*</sup> Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 74 - Efeito de forma de cavacos (C) e álcali ativo(A) sobre o tempo de refino necessário para 40 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação CxA

| Fonte      | de Vari | ação     |                 | GL  | Quadrados Médios |
|------------|---------|----------|-----------------|-----|------------------|
| Forma      | de cava | cos (C)/ | 'A-,            | 4   | 2246,7122**      |
| <b>1</b> 1 |         |          | <u>ـ</u> د      | 4   | 2543,9187**      |
| Alcali     | ativo   | (A) /    | ′C <sub>1</sub> | 1   | 15,5270          |
| 11         | 11      | "        | ′c <sub>2</sub> | 1   | 18,8760          |
| 11         | 11      |          | ′c 3            | 1   | 10,2675          |
| 11         | T       |          | /c <sub>4</sub> | 1   | 357,5216**       |
| r)         | f†      |          | ′c <sub>5</sub> | 1   | 74,0036          |
| Erro       |         |          | -               | 120 | 35,4522          |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 75 - Efeito de forma de cavacos (C) e de álcali ativo (A), sobre o tempo de refino necessário para 40 graus Schopper Riegler

|                     | <u></u>                       | For              | ma de Cava       | cos                |                 |
|---------------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Alcali Ativo<br>(A) | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas           |
| 13                  | 69 <b>,</b> 3 a*              | 54,3 b           | 17 <b>,</b> 6 d  | 40,4 c             | 37 <b>,</b> 9 c |
| 15                  | 67,0 a                        | 56 <b>,</b> 9 b  | 15 <b>,</b> 7 e  | 29,5 d             | 42,9 c          |

<sup>\*</sup> As médias seguidas da mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 76 - Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F), sobre o tempo de refino necessário para 40 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx F

| Fonte     | de   | Variação | )                  | GL  | Quadrados Médios |
|-----------|------|----------|--------------------|-----|------------------|
| Forma     | . de | cavacos  | (C)/F <sub>3</sub> | 4.  | 2401,3741**      |
| 11        | 11   | 11       | "/F2               | 4   | 2379,1876**      |
| Fator     | Н    | (F)      | /c <sub>l</sub>    | 1   | 11,3098          |
| <b>11</b> | **   | 11       | /c <sup>2</sup>    | 1   | 10,1751          |
| 11        | 11   | 11       | /c <sup>3</sup>    | 1   | 10,2674          |
| 11        | 11   | 11       | /c <sub>4</sub>    | 1   | 50,0201          |
| 11        | 11   | II       | /c <sub>5</sub>    | l   | 446,5196**       |
| Erro      |      |          |                    | 120 | 35,4522          |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 77 - Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F), sobre o tempo de refino necessário para 40 graus Schopper Riegler

|             |                               | Forma            | de Cavac         | os (C)             |                 |
|-------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Fator H (F) | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas           |
| 450         | 69 <b>,</b> 7 a*              | 54 <b>,</b> 7 b  | 15,7 d           | 37,0 c             | 46,5 bc         |
| 900         | 67 <b>,</b> 2 a               | 56 <b>,</b> 5 b  | 17,6 d           | 32 <b>,</b> 9 c    | 34 <b>,</b> 3 c |

<sup>\*</sup> As médias seguidas da mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pe lo teste de Tukey.

QUADRO 78 - Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F), sobre o tempo de refino necessário para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Cx F

| Fonte | de    | Variaçâ | io                   | GL  | Quadrados Médios |
|-------|-------|---------|----------------------|-----|------------------|
| Forma | ı de  | cavacos | G (C)/F <sub>1</sub> | 4   | 3054,1167**      |
|       |       | 11      | "/F <sub>2</sub>     | 4   | 3083,1370**      |
| Fator | . н ( | F)      | /c <sub>1</sub>      | 1   | 71,7848          |
| 11    | **    | 11      | /c <sup>2</sup>      | 1   | 1,5048           |
| 11    | 11    | IT      | /c <sub>3</sub>      | 1   | 5,2005           |
| ŧī    | **    | 11      | /c <sub>4</sub>      | 1   | 317,2401**       |
| ts    | 11    | FF      | /c <sub>5</sub>      | 1   | 516,1401**       |
| Erro  |       |         | ,                    | 120 | 35,4522          |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 79 - Efeito de forma de cavacos (C) e de fator H (F), sobre o tempo de refino necessário para 55 graus Schopper Riegler

|             | Forma de Cavacos (C)          |                  |                  |                    |                 |  |
|-------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|--|
| Fator H (F) | Cavacos<br>conven-<br>cionais | Mini-<br>cavacos | Serragem<br>fina | Serragem<br>grossa | Fitas           |  |
| 450         | 88 <b>,</b> 2 a*              | 80,4 a           | 29 <b>,</b> 6 c  | 67,0 b             | 62 <b>,</b> 6 b |  |
| 900         | 83,3 a                        | 79,7 a           | 28 <b>,</b> 3 c  | 56,7 b             | 49 <b>,</b> 5 b |  |

<sup>\*</sup> As médias seguidas da mesma letra em cada linha, não diferem estatisticamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 80 - Efeito de álcali ativo (A) e de fator H (F), sobre o tempo de refino necessário para 55 graus Schopper Riegler, de acordo com o desdobramento da interação Ax F

| Fonte de Variação                                  | GL  | Quadrados Médios      |
|--|-----|-----------------------|
| Alcali ativo (A)/F <sub>1</sub> " "/F <sub>2</sub> | 1   | 312,3476**<br>84,0026 |
| Fator H (F) /A <sub>1</sub> /A <sub>2</sub>        | 1   | 10,1500<br>901,4600** |
| Erro   | 120 | 35,4522               |

<sup>\*\*</sup> Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 81 - Efeito de álcali ativo (A) e de fator H (F), sobre o tempo de refino necessário para 55 graus Schopper Riegler

| Fator H (F) | Alcali Ativo (A) |         |  |
|-------------|------------------|---------|--|
|             | 13               | 15      |  |
| 450         | 62,3 bA*         | 74,6 aA |  |
| 900         | 61,2 aA          | 57,8 aB |  |

<sup>\*</sup> Os tratamentos seguidos pela mesma letra, não diferem esta tisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. As letras minúsculas comparam o álcali ativo dentro do fa tor H, enquanto as maiúsculas comparam o fator H dentro do álcali ativo.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo verificar o comportamento para produção de celulose kraft, de diversas formas de cavacos, obtidas de madeira de <u>Eucalyptus urophylla</u>, de origem híbrida. Foram utilizadas para as pesquisas, cinco formas de cavacos, a saber: cavacos convencionais; cavacos de espessura inferior a 2 mm, denominados mini-cavacos; serragens fina e grossa e fitas de madeira, obtidas no sentido longitudinal da tora, por ação de desengrossadeira de serraria. Aliado à morfologia dos cavacos, procurou-se verificar a influência das condições do cozimento kraft, como álcali a tivo e fator H, em níveis de 13 e 15% de Na<sub>2</sub>O sobre a madeira absolutamente seca e de 450 e 900, respectivamente.

Para o estudo das propriedades de deslignificação, como rendimentos, número kappa e viscosidade, os tratamentos foram dispostos segundo um esquema fatorial 5 x 2 x 2, para os fatores forma de cavacos, álcali ativo e fator H, respectivamente, no delineamento inteiramente casualizado, como três repetições.

As celuloses eram refinadas em moinho Jokro Muhle para desenvolverem características físico-mecânicas. Os valores referentes às seguintes propriedades foram graficamente interpolados para 25, 40 e 55°SR: resistências à tração, estouro e rasgo, esticamento, densidade aparente, volume específico aparente e tempo de refino.

Para o estudo das propriedades físico-mecânicas, os tratamentos foram dispostos segundo um esquema fatorial 5 x 3 x 2 x 2 para os fatores forma de cavacos, grau Schopper Riegler, álcali ativo e fator H, no delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

Em todos os casos, foram efetuadas as análises da variância e as comparações das médias eram realizadas através do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados e as conclusões foram as seguintes:

- a) a forma dos cavacos é da maior importância, influenciando todas as características das celuloses kraft.
- b) dentre os tipos de cavacos ensaiados, os melhores resultados em termos de resistências das celuloses foram obtidos para os cavacos convencionais, donde se conclui que es sa forma de cavacos constitui-se aparentemente na mais indicada para os processos químicos de produção de celulose.
- c) os cavacos na forma de fitas e os mini-cavacos mos traram-se altamente promissores, justificando maiores estudos complementares. Altos rendimentos, associados com facilidade de deslignificação e boas propriedades físico-mecânicas são características importantes mostradas pelas celuloses produzidas desses materiais. Os únicos inconvenientes desses tipos de cavacos são as suas densidades a granel baixas, e as maiores dificuldades de se reduzir as toras de madeira a fitas.
- d) os mini-cavacos, que normalmente são rejeitados nos sistemas de classificação atuais, mostram-se como ótima matéria-prima, quando deslignificados puros. Os bons rendimentos e propriedades físico-mecânicas justificam o seu uso

na produção de celulose kraft.

- e) tendo em vista os excelentes resultados alcançados nessa pesquisa para os cavacos finos (mini-cavacos) e para as fitas de madeira, conclui-se que a espessura dos cavacos convencionais poderia ser reduzida a valores entre 0,5 a 2 mm, sem que prejuízos ocorressem na qualidade da polpa resultante. Pelo contrário, ter-se-ia uma vantagem adicional, que seria a maior facilidade de declignificação desses cavacos de espessura fina.
- f) a serragem grossa, com resultados inferiores aos mini-cavacos e fitas, apresenta viabilidade para conversão a celulose de qualidade razoável para imúmeras utilizações tais como: papelões diversos, envoltórios de frutas, etc.
- g) a serragem fina deve ser descartada e preferencial mente usada como combustível, pois sua viabilidade para produção de celulose kraft é reduzida, frente às baixas características a que conduz. Uma alternativa para seu uso para celulose seria misturá-la em dosagens reduzidas junto aos cava cos convencionais, antes do cozimento.
- h) dentre os tratamentos não convencionais testados, um dos que se vislumbra de maior potencial é aquele em que cavacos na forma de fitas de madeira foram deslignificados a 15% de álcali ativo e 450 de fator H. Os resultados alcançados permitem antever uma futura utilização para esse tipo de material, principalmente pelo alto rendimento, ausência de rejeitos, baixo número kappa, facilidade consequente de branqueamento e propriedades físico-mecânicas similares as dos cavacos convencionais, obtidas a tempos de refino mais rápidos. Porém deve-se ainda considerar que a obtenção desta for ma de cavacos, implica num elevado consumo de energia, além de necessitar de maior volume de material por tonelada de celulose.

i) existe a possibilidade de se otimizar a produção de celulose de cada tipo de cavacos, pela variação das condições de cozimento como álcali ativo e fator H. As otimizações devem ser individuais para forma de cavacos, pois é inviável se encontrar condições ideais de cozimentos para todos os tipos de cavacos conjuntamente.

## 6. LITERATURA CITADA

- 1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro.

  Normas Técnicas ABNT. (s.d.).
- 2. ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELUIOSE E PAPEL. São Paulo. Normas Técnicas ABCP. (s.d.).
- 3. ANDRADE, J.O.M.; ZVINAKEVICIUS, C.; FOELKEL, C.E.B. Estudos sobre a influência da espessura dos cavacos de eucalipto sobre a qualidade da celulose kraft correspondente. O Papel, São Paulo, 39(10):55-59, out., 1978.
- 4. BACKMAN, A. The influence of the thickness of chips upon pulp yield and pulp quality in pulping with paralellipiped shaped chips. Paper and Timber, Helsinki, 28:200-208. 1946.
- 5. BEEMAN, W.H. Sawdust, shavings for pulping pros and cons. Pulp and Paper, 35(7):35. 1968.
- 6. BUGAJER, S.; CAHEN, R.; LIMA, A.F.; PINHO, M.R.R. Fator H parâmetro válido para polpação de eucalipto? O Papel, São Paulo, 40(3):35-49, 1979.
- 7. BUBLITZ, W.J. & YANG, T.Y. Pulping characteristics of Douglas fir sawdust. Tappi, 58(3):95-99, 1975.
- 8. CARDWELL, R.D & CUNDALL, S.B. The effect of pulping process variables on pulp characteristics and physical properties. Appita, 29(5):349-355, 1976.

- 9. CHESLEY, K.G. & ROBERTSON, N.F. The effect of small chip sizes in sulphate pulping. Svensk Papperstidning, Stockholm, 67:495-505, 1944.
- 10. FERGUS, B.J.; HANNAH, B.C.; JONES, R.N. The kraft pulping and bleaching of Pinus radiata sawdust and chipper fines. Appita, 27(2):119-122, 1973.
- 11. FOELKEL, C.E.B.; COUTO, L.C.; KATO, J. A utilização da serragem de madeira de eucalipto na produção de polpa celulósica. Cenibra, 1978, 21 p. (Pesquisa, 89).
- 12. FOELKEL, C.E.B. & COUTO, L.C. <u>Celulose kraft de cavacos</u> em forma de fitas para eucalipto. Cenibra, 1978, 7 p. (Pesquisa <u>44</u>).
- 13. HARTLER, N. & ONISKO, W. The interdependence of chip thickness, cooking temperature and screenings in kraft cooking of pine. Svensk Papperstidning, 65:896-905, 1962.
- 14. ISOTALO, I.; GOTTSCHING, L.; VIRKOLA, N.E.; NORDMAN, L. The preparation of sawdust sulphate pulp and its use in printing paper manufacture. I Paperi ja Puu, Papper och Tra, 46(3):71-85; II Paperi ja Puu, Papper och Tra, 46(4a):237-248, 1964.
- 15. LINKHART, R. Utilization of sawdust in kraft pulping at Potlatch Forests Inc, Lewiston, Idaho mill. 59 Congreso Florestal Mundial, 4 p., 1960.
- 16. MACKIE, D.M. & McATEER, J.L. Effect of sawdust on kraft pulping. McMillan Bloedel Research Limited Report. 1977.
- 17. McCLELLAND, J.O. & KUKOLICH, S.I. Hardwood sawdust pulp is tested for use in paperboard. Pulp and Paper, (7): 90-93, 1974.
- 18. NELSON, P.J. Bissulphite, NSSC and refiner groundwood pulps from P. radiata sawdust. Appita, 29(3):161-164, 1975.
- 19. PROCTER, A.R. & CHOW, W.M. Simulated hardwood market kraft pulp from western red cedar sawdust. <u>Tappi</u>, <u>59</u>(2):119-124. 1976.

- 20. REITTER, F.J. The MM process for pulping mixed hardwoods uses dry thin flakes. Pulp and Paper International, (7):53-64, 1974.
- 21. TAYIOR, T.G. The production of bleached kraft market pulp from sawdust. Pulp and Paper Canada, 78(1):53-57, 1977.
- 22. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, Atlanta. TAPPI Standard Methods. (s.d.).
- 23. WENZL, H.J.F. The chemical technology of wood. New York. Academic Press, 1970. 692 p.