

Avaliação de substituição de agregado miúdo por resíduo de eucalipto em argamassa

Evaluation of substitution of fine aggregate with eucalyptus residue in mortar

RESUMO

Vaneila Schneider
vaneilaschneider@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Gustavo Savaris
gsavaris@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

A serragem da indústria madeireira é gerada com um resíduo em quantidade significativa, não havendo uma destinação específica além da queima em caldeiras e sendo, muitas vezes, descartada de forma incorreta. Dessa forma, optou-se por avaliar o potencial de incorporação deste resíduo em argamassas, como substituto do agregado miúdo natural e verificar as propriedades físicas e mecânicas do material resultante. Devido à presença de substâncias químicas (compostos fenólicos, ácidos e açúcares) a cura do cimento é retardada quando adiciona o resíduo de madeira, sendo inicialmente realizados ensaios de tempo de pega para determinação do teor de cloreto de cálcio a ser adicionado na argamassa. A partir de um traço de referência 1:2 foram definidos 3 diferentes teores de substituição de agregado miúdo por serragem de eucalipto: 5%, 10% e 20%, sendo avaliada a consistência das misturas no estado fresco e a resistência à tração na flexão e à compressão no estado endurecido. Os resultados demonstram a redução da resistência e o aumento da absorção com a adição de resíduo, porém verificou-se a possibilidade de utilização das argamassas para produção de blocos de vedação.

PALAVRAS-CHAVE: Serragem de eucalipto. Resistência. Blocos de vedação.

ABSTRACT

The wood industry sawdust is generated with a significant amount of waste, with no specific destination other than burning in boilers and often being incorrectly disposed of. Thus, it was decided to evaluate the potential for incorporating this residue in mortars, as a substitute for the natural fine aggregate and to verify the physical and mechanical properties of the resulting material. Due to the presence of chemical substances (phenolic compounds, acids and sugars) the curing of the cement is delayed when the wood residue is added, and initial setting time tests are carried out to determine the calcium chloride content to be added to the mortar. From a 1: 2 reference line, 3 different levels of fine aggregate substitution by eucalyptus sawdust were defined: 5%, 10% and 20%, being evaluated the consistency of the mixtures in the fresh state and the tensile strength in flexion and compression in the hardened state. The results demonstrate a reduction in strength and an increase in absorption with the addition of waste, but the possibility of using mortars for the production of sealing blocks was verified.

KEYWORDS: Eucalyptus sawdust. Resistance. Sealing blocks.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

O Paraná é um dos maiores lidera as exportações de madeira serrada de coníferas e compensado do Brasil, e cerca de 34,2% da área plantada total, em torno de 360 mil hectares, corresponde ao gênero *Eucalyptus* (IFP, 2015). De acordo com Dantas Filho (2004), a serragem da indústria madeireira é gerada como um resíduo em quantidade significativa, uma serraria de porte médio destinada a produzir 2 mil metros cúbicos de madeira serrada por mês pode gerar 78 toneladas de serragem, ao todo, estima-se que as serrarias do país geram em torno de 620 mil toneladas por ano.

Conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004), o resíduo de madeira é classificado como resíduos classe II A – Não inertes que podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Os resíduos das indústrias de base madeireira consistem nas sobras que ocorrem no processamento que não são incorporados ao produto final. Segundo Fontes (1994) o extinto IBDF (Instituto Brasileiro de desenvolvimento Florestal) classifica estes resíduos em:

a) serragem: resíduo originado da opção de serras, encontrado em todos os tipos de indústria, à exceção das laminadoras.

b) maravalha: resíduo gerado pelas plainas em serrarias e indústrias que adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes para móveis, esquadrias, pisos, forros, etc.

c) lenha: resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria, composto por costaneiras, aparas, refilos, resíduos de topo de tora, restos de lâminas. Já nos resíduos de madeira da construção civil predominam tábuas, ripas e escoras com dimensões inferiores a um metro, que não possam ser reaproveitadas em coberturas ou para montagem de formas para elementos de concreto.

Entretanto, não há uma destinação específica além da queima em caldeiras, que resulta no consumo de gás oxigênio e a liberação de gás carbônico na atmosfera, e sendo, muitas vezes, descartada de forma incorreta. O aproveitamento desse resíduo possibilita a obtenção de uma tecnologia ecológica e de cunho econômico, devido a redução do consumo de matérias primas naturais.

A densidade é uma grande preocupação em termos de peso e transporte de materiais, por isso a crescente procura na construção civil de materiais mais leves e eficientes. Assim, a utilização de resíduo de madeira além de reduzir a demanda de agregado miúdo para fabricação de concreto e argamassa, como blocos de vedação e painéis cimento-madeira, torna o produto gerado mais isolantes termicamente devido a baixa condutividade térmica da madeira (DANTAS, 2004).

De acordo com Macêdo et al. (2011), os painéis cimento-madeira geralmente são divididos em duas categorias: A primeira tipologia tem aplicação primariamente arquitetônica, para isolamento térmico e acústico; e a segunda, foi inicialmente desenvolvida na década de 1970 para substituir o cimento-amianto, por possuir melhores características mecânicas. Além disso, a utilização deste material tem sido primariamente impulsionada de vido à sua boa resistência a degradações de forma geral; por ação de insetos e fungos quando comparado à madeira não tratada.

Estes painéis podem ser denominados de compósitos, em que na fase ligante, o cimento transmite o esforço entre as partículas de madeira, mantendo-as protegidas do meio e permitindo sua orientação apropriada. Por sua vez, a madeira, além de aumentar a resistência à tração, contribui para redução da densidade e do custo (MATOSKI E IWAKIRI, 2007).

Os painéis de cimento madeira apresentam grande isolamento acústico, sendo resistentes à água e temperatura, tornando-se um excelente substituto para os materiais tradicionais em coberturas e vedações verticais (WEI e TOMITA, 2001). Entretanto, devido aos extrativos presentes na madeira, algumas espécies podem apresentar alta inibição ao endurecimento do cimento durante o processo de produção de painéis cimento-madeira (SANTOS ET AL., 2012). A adequação do uso da madeira neste material tem sido feita a partir de diferentes critérios, dentre eles: Escolha da espécie, Tratamento dos Resíduos Vegetais, Aditivação do Aglomerante, Aceleração da Cura por Métodos Externos, Efeitos Indesejáveis, Retardamento de Pega e Instabilidade Dimensional (MACÊDO ET AL., 2011).

No estudo de Moreira et al. (2011) foi realizada a avaliação de blocos de vedação compostos por uma matriz cimentícia reforçada pelo resíduo de madeira da espécie *Dinizia Excelsa Ducke* (Angelem Vermelho) em substituição parcial do agregado miúdo. O resíduo foi seco em estufa durante 24h e classificado granulometricamente, ou seja, o material passante na peneira #4.8 caracterizado como pó de serra. Os mesmos relatam que a perda de resistência em relação ao compósito de referência pode ser ligada a absorção de água pelas fibras e partículas e posterior liberação na argamassa, então a introdução do resíduo úmido na mistura ameniza essa redução.

Macêdo et al. (2011) utilizaram resíduos de madeira da espécie *Angelim Pedra* (*Hymenolobium Petraeum Ducke*), obtidos em uma indústria moveleira e em construções na cidade de Belém-PA, como adição em massa de 2%, 3,5% e 5% para produção de concretos. Os autores ressaltaram a necessidade de adição de cloreto de cálcio à mistura para aceleração do tempo de pega, que devido à natureza ácida e dos açúcares dos extrativos da madeira é aumentado.

Com a intenção de minimizar a poluição ambiental, essa pesquisa teve por objetivo avaliar o potencial de incorporação em argamassas do resíduo seco estufa, como substituto do agregado miúdo natural (areia) e verificar as propriedades físicas e mecânicas do material resultante.

MATERIAIS E MÉTODOS

O resíduo utilizado foi coletado em uma serraria no município de Altônia-PR, proveniente do desdobro de eucalipto para indústria moveleira. Para caracterização do resíduo foram realizados os ensaios de massa específica (ABNT, 2003), umidade e de composição granulométrica (ABNT, 2006). Para utilização como substituto na argamassa utilizou-se somente o material passante na peneira de abertura de 4,76 mm.

A partir do traço de argamassa de referência 1:2 (cimento:areia), em massa, foram produzidas quatro misturas, sendo uma de referência, denominada R0, apenas com areia, e outras com substituição em massa de 5%, 10% e 20% da areia por resíduo, denominadas R5, R10 e R20. Devido à presença de compostos

fenólicos, ácidos e açúcares na madeira, a cura do cimento é retardada, sendo necessária a adição de cloreto de cálcio como acelerador de pega. Para determinação do teor de cloreto de cálcio a ser utilizado inicialmente foram realizados ensaios de tempo de pega, conforme NBR NM 65 (ABNT, 2002). Nas misturas com resíduo foi utilizado cloreto de cálcio, como aditivo acelerador de pega diluído na água de amassamento. Após ensaios de tempo de pega a adição foi descartada para produção das argamassas.

Na Quadro 1 são apresentados os traços para produção de argamassa de cada mistura. Durante a mistura foi necessária a adição de água, visto que ocorreu absorção de água pelo resíduo, ajustando a consistência da argamassa com base nos resultados do ensaio de índice de consistência (ABNT NBR 13276, 2016), sendo corrigido o fator água/cimento.

Quadro 1 – Proporções de materiais do traço referência e com substituição de agregado miúdo

Traços	Cimento (kg)	Areia (kg)	Água (kg)	Serragem (kg)
Referência	1,00	2,00	0,50	0,00
5% de substituição	1,00	1,90	0,80	0,10
10% de substituição	1,00	1,80	1,50	0,20
20% de substituição	1,00	1,60	2,60	0,40

Fonte: Autoria Própria (2020).

No estado endurecido as argamassas foram avaliadas quanto a resistência à compressão e resistência à tração na flexão (ABNT, 2005), para isto foram moldados 6 com corpos de prova prismáticos de 40mm x 40mm x 160mm de cada argamassa (FIGURA 1). Além disso, foram realizados os ensaios de determinação de absorção de água e massa específica (ABNT, 2009).

Figura 1 - Corpos de prova: (a) sem resíduo, e com substituição de (b) 5%, (c) 10% e (d) 20%

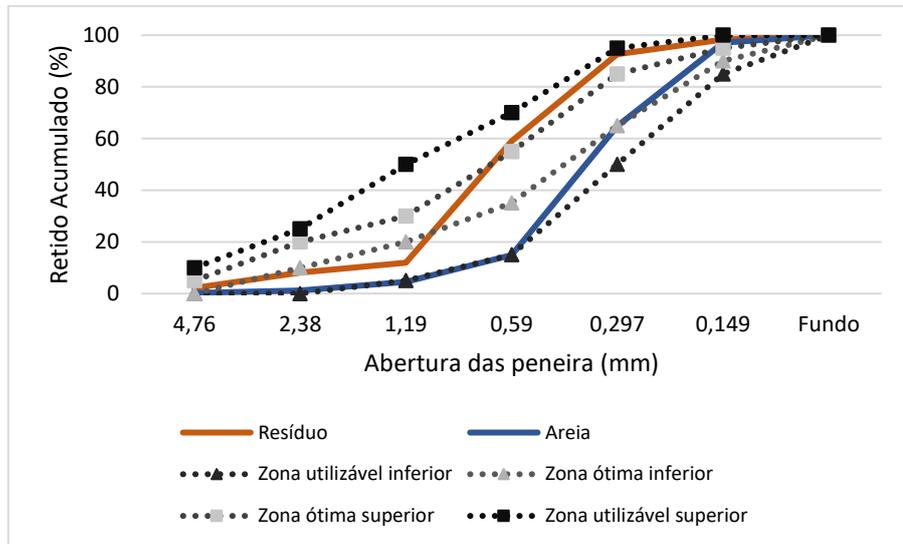


Fonte: Autoria Própria (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resíduo de madeira apresentou umidade inicial de 25%, massa específica igual a 1,53g/cm³ e módulo de finura de 2,72, enquanto a areia natural extraída do rio Paraná apresentou massa específica de 2,63g/cm³ e módulo de finura de 1,828. Na Figura 2 são apresentadas as curvas granulométricas do resíduo e da areia e os limites da norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

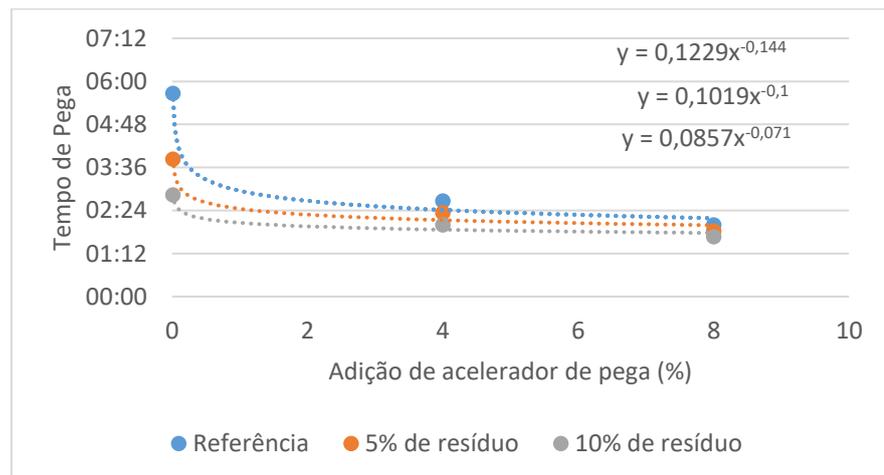
Figura 2 – Curvas granulométricas da areia e do resíduo



Fonte: Autoria Própria (2020).

Na Figura 3 são apresentados os resultados do ensaio de tempo de pega do cimento para as misturas sem resíduo, com 5 e 10% de substituição da areia, nas condições sem aditivo e com adição de 4 e 8% de cloreto de cálcio em relação à massa de cimento. A adição de apenas 4% mostrou-se suficiente já que a seguinte, de 8% não apresentou maiores alterações em relação à anterior. Entende-se que a adição de resíduo não aumentou o tempo de pega pois a relação água cimento foi mantida nas três amostras, desconsiderando a absorção de água pelo resíduo e que pode não ter ocorrido a hidratação de algumas partículas de cimento nas amostras com resíduo. Como o tempo de pega não apresentou grandes variações, optou-se por não utilizar o aditivo acelerador de pega.

Figura 3 – Ensaio de tempo de pega utilizando o Aparelho de Vicat



Fonte: Autoria Própria (2020).

Na Quadro 2 são apresentados os resultados de massa específica e absorção de água. Observa-se a redução da massa específica com o aumento do teor de resíduo presente na argamassa, devido em partes à substituição da areia por um material de menor densidade.

Quadro 2 – Massa específica e absorção

Teor de Resíduo	Massa específica seca (g/cm ³)	Absorção (%)
Referência	1,445	20,236
5% de substituição	1,338	33,334
10% de substituição	0,972	56,394
20% de substituição	0,778	71,506

Fonte: Autoria Própria (2020).

Os ensaios de resistência a tração na flexão e a compressão foram realizados aos 28 dias, e os resultados são apresentados nos Quadros 3 e 4, respectivamente. Durante a remoção da forma, um dos corpos de prova da amostra com teor de 20% de resíduo foi danificado e descartado. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias (Tukey Kramer).

Quadro 3 – Resistência à tração na flexão

Resistência à tração na flexão (MPa)	Substituição de agregado (%)			
	Referência	5	10	20
CP1	6,42	4,13	2,46	0,94
CP2	7,10	4,78	2,27	0,87
CP3	6,45	4,37	2,44	0,48
CP4	7,29	3,94	2,32	0,75
CP5	7,41	4,42	2,13	0,89
CP6	8,09	4,02	2,54	-
Média	7,127	4,307	2,360	0,786
Desvio Padrão	0,6315	0,2905	0,1502	0,1844

Fonte: Autoria Própria (2020).

De acordo com a ANOVA, em que $F > F_{crítico}$, os tratamentos não podem ser considerados estatisticamente iguais. A partir do teste de Tukey comprovou-se significativamente diferença significativa entre as médias dos resultados obtidos para cada tratamento. Observa-se a redução da resistência à tração proporcional à adição de resíduo.

Segundo a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), a argamassa de assentamento deve ter resistência a compressão $>1,5$ MPa. Observa-se na Quadro 4 que a mistura com substituição de 20% de agregado por resíduo, não atende este requisito da norma e não pode ser utilizada para assentamento de blocos estruturais.

Quadro 4 – Resistência à compressão

Resistência à compressão (MPa)	Substituição de agregado (%)			
	Referência	5	10	20
CP1	35,69	17,58	5,60	1,54
CP2	34,02	18,23	5,06	1,37
CP3	34,71	16,71	5,50	1,62
CP4	34,19	15,84	5,83	1,37
CP5	33,81	16,12	5,75	1,40
CP6	33,57	17,09	6,76	1,43
CP7	38,17	14,74	6,32	1,51
CP8	37,44	17,17	5,67	1,20
CP9	37,93	16,55	5,67	1,49
CP10	38,08	16,18	5,51	1,35
CP11	40,00	16,01	5,85	-
CP12	40,52	16,43	6,00	-

Resistência à compressão (MPa)	Referência	Substituição de agregado (%)		
		5	10	20
Média	36,43	16,55	5,793	1,428
Desvio Padrão	2,530	0,904	0,344	0,119

Fonte: Autoria Própria (2020).

De acordo com a ANOVA e o teste de Tukey Kramer, a resistência à compressão das misturas apresenta diferença estatisticamente significativas entre si.

Na literatura, observa-se, um geral, menores teores de substituição, sendo esse em até 5%, como no caso de Rodrigues et al. (2019) onde a substituição de 2,5% apresentou ligeiro aumento de resistência à compressão em relação a referência e de 5% apresentou uma redução significativa. Segundo Savastano Junior, Dantas e Agopyan (1994, apud Rodrigues et al, 2019) a água após o contato com as fibras ou partículas de madeira, libera para a matriz de cimento alguns extrativos, tais como fenóis, taninos e açúcares, que contribuem para o retardo da reação de pega e endurecimento da matriz.

No entanto, traços com maior teor de substituição de serragem apresentam redução da resistência a compressão. Verifica-se que o mesmo ocorreu nesse estudo, o teor de substituição foi maior e a resistência diminuiu proporcionalmente a adição.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta os resultados de um programa experimental visando a utilização de resíduo de madeira como substituto parcial da areia para produção de argamassa. Com base nos resultados obtidos as seguintes conclusões podem ser estabelecidas:

- a) a adição de resíduo não influenciou no tempo de pega do cimento devido à redução da quantidade de água livre disponível para hidratação do cimento, resultando em secagem rápida da argamassa;
- b) a substituição de 5% de agregado miúdo por resíduo demonstra potencial para ser utilizada para produção de blocos de vedação, devido a pequena redução da resistência à tração e compressão do material, bem como a baixa variação da absorção de água;
- c) teores de substituição de areia por resíduo de madeira iguais a 10% e 20% resultaram em argamassas de baixa resistência e elevada absorção de água, inviabilizando a utilização das argamassas.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao suporte à pesquisa proporcionado pela UTFPR, participando do programa de iniciação científica voluntária, conforme edital PROPPG 02/2019.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15812-1**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação de composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 65**: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2002.

DANTAS FILHO, F.P.. **Contribuição ao estudo para aplicação de pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural**. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2004.

EISFELD, R. de L.; NASCIMENTO, F.A.F.. **Mapeamentos dos Plantios Florestais do Estado do Paraná – Pinus e Eucalyptus**. Curitiba, Instituto de Florestas do Paraná, 2015.

FILHO, O.N.; OLIVEIRA, T.S.M.; ÂNGELO, F.A.. Estudo do concreto com adição do resíduo pó-de-serra de Eucalyptus spp. **69ª Reunião Anual da SBPC**. Belo Horizonte, UFMG, 2017.

FONTES, P.J.P. Auto-Suficiência Energética em Serraria de Pinus e Aproveitamento dos Resíduos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; WEBER, A.M.; BONFATTI JUNIOR, E.A.; PEREIRA, G.F.; BUENO, J.A.; CECHIN, L.; RAIÁ, R.Z. Efeitos do Tratamento de Partículas e Aceleradores de Endurecimento na Produção de Painéis Cimento-Madeira de *Havea brasiliensis*. FLORESTA, v.47, n.3, p.289-296, jul./set. 2017.

MACÊDO, A.N.; LIMA, A.M.; FONSECA, F.O.; LAVÔR, B.V.A. Análise Estatística do Comportamento Mecânico à Compressão do Compósito Cimento-Madeira. Revista Matéria, v.16, n.2, pp.658-667, 2011.

MATOSKI, A.; IWAKIRI, S. Painéis de Cimento-Madeira Utilizando Farinha de Madeira com Granulometria Controlada. FLORESTA, v.37, n.2, p.149-158, mai./ago. 2007.

MOREIRA, A.B.S.; SOUZA; P.S.L.; MACÊDO. A.N. Comportamento mecânico à compressão de blocos de concreto para alvenaria compostos com pó de serra em função do tratamento adotado no resíduo. Revista Madeira- Arquitetura e Engenharia. São Paulo, v.12, n.28, p.59-72, jan./mar., 2011.

NOLASCO, A.M.; ULIANA, L.R.. **Gerenciamento de Resíduos na Indústria de Pisos de Madeira**. Piracicaba, ANPM, 2014.

RODRIGUES, R.; COELHO, P.H.S.; GOMES, K.N.A.E.S.. Utilização de serragem de MDF como agregado para produção de blocos de concreto de vedação. **61º Congresso Brasileiro do Concreto**. Fortaleza, IBRACON, 2019.

SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.C.; CASTRO, A.F.N.M.; CASTRO, R.V.O.; PIMENTA, A.S.; ARAÚJO, S.O.; ATAÍDE, G.M. Efeito inibidor da madeira de candeia em mistura com aglutinantes minerais. Scientia Forestalis, v.40, n.93, p.113-140, 2012.

WEI, Y.M.; TOMITA, B. Effects of five additive materials on mechanical and dimensional properties of wood cement-bonded boards. Journal of Wood Science, v.47, p.437-444, 2001.

ZOLDAN, M.A.; DE LIMA, C.A.P.. A classificação sustentável dos resíduos madeireiros otimizando os processos – Estudo de Caso. **XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Bento Gonçalves, ABEPRO, 2012.