

APLICAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS NO CONTROLE DA FABRICAÇÃO DE CHAPAS DE FIBRAS DE MADEIRA

Ghislaine Miranda Bonduelle¹

RESUMO: Este trabalho demonstra uma aplicação do planejamento de experimentos no processo de melhoria de qualidade do produto. No estudo, foram analisados três fatores que poderiam influenciar na variação da espessura de painéis de fibras duras: a utilização de uma placa de compensação entre os pratos da prensa; o dia de coleta da amostragem em função da parada para manutenção da prensa e a posição do prato amostrado na prensa. O planejamento utilizado foi o de planos fracionários em dois níveis, com oito ensaios e três fatores. Os resultados obtidos demonstraram que o planejamento de experimentos é eficaz como ferramenta de apoio no controle da qualidade e permite a tomada de decisões de medidas preventivas e/ou corretivas que contribuam para a melhoria de qualidade do produto.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento de experimentos, controle de qualidade, chapas de fibras de madeira

EXPERIMENTAL PLANNING APPLICATION IN THE HARDBOARD PANELS MAKING

ABSTRACT: *This work demonstrates an experimental planning application in product quality improvement process. Three factors were analyzed in this study, which could affect hardboard panels thickness variation: utilization of a compensation plaque between the press platens; the day of sampling in function of the press stop for maintenance, and the sampled dish position in the press. The utilized planning was the fractionary planes in two levels, with eight tests and three factors. The results showed that the experimental planning is efficient as a quality control support tool, and it permits taking preventive and/or corrective decision steps that can contribute to improve product quality.*

KEY WORDS: *Experimental planning, quality control, hardboards panels.*

1. INTRODUÇÃO

A utilização do planejamento de experimentos pode contribuir com o desenvolvimento industrial pela otimização das grandezas de interesse, da determinação dos fatores influentes sobre essas grandezas, eventualmente das suas

interações e pela minimização dos efeitos da variabilidade sobre o desempenho de um processo ou de um produto (Bonduelle, 1994).

Este planejamento permite ao experimentador melhorar as performances dos produtos e processos, atenuar a sensibilidade de seus elementos a fatores que não podem ser

¹ Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal/UFPR – Rua Lothário Meissner, 3400, Curitiba, 80210-170-gislaine@floresta.ufpr.br

controlados e reduzir os custos de desenvolvimento e de fabricação.

O planejamento de experimento possui como principais vantagens:

- diminuição do número de ensaios;
- estudo de um número considerável de fatores;
- detecção das interações entre os fatores;
- detecção dos níveis ótimos;
- melhoria da precisão dos resultados;
- otimização dos resultados.

O planejamento de experimentos consiste no estudo dos métodos da amostragem e dos problemas correlatos que surgem (Spiegel, 1982).

Seu princípio básico permite variar de uma só vez todos os níveis de todas as variáveis, discretas ou contínuas (chamadas de fatores), a cada experiência, de maneira programada e racional. O planejamento de experimentos permite o estudo de numerosos fatores, mantendo-se o número de ensaios em níveis razoáveis, pois uma de suas aplicações principais está na procura dos fatores influentes. O experimentador pode reduzir o tempo de trabalho, diminuindo o número de pontos de experiência por fator, sem ser obrigado a limitar o número de fatores, como ocorre no método clássico da experimentação (Goupy, 1988).

O planejamento de experimentos é baseado nas considerações racionais e relacionado com as regras estatísticas e algébricas. O princípio discutido por Vigier (1988) considera que n fatores podem influenciar na variabilidade y , sendo que todos estes fatores não são forçosamente identificados, escolhendo-se k fatores controlados no experimento. Quer dizer que $k-n$ fatores ditos não-controlados serão *a priori* deixados em seu estado habitual. Esta constatação é importante, pois, em geral, estes fatores são afetados por uma variabilidade geral e são eles mesmos a causa da variabilidade y . Isto é suposto normal, no sentido gaussiano. A procura dos fatores influentes consiste em:

- fixar somente dois valores para cada fator. Estes valores serão denominados de níveis;

- estudar o maior número possível de fatores, mesmo aqueles que não parecem ser muito importantes.

Entre todos os fatores estudados, apenas alguns apresentarão influência significativa na variação das respostas. Em função dos resultados obtidos, será fácil escolher os novos pontos experimentais para esclarecer alguns aspectos de um estudo. Desta maneira, todos os fatores terão sido detectados e estudados, mantendo-se o número de experiências dentro do justo necessário.

Um planejamento de experimentos em dois níveis utiliza apenas as combinações selecionadas. Ele permite a obtenção de uma grande quantidade de informações com um pequeno número de ensaios experimentais. As experiências estatísticas permitem obter a melhor solução para extrair um máximo de informações úteis com um mínimo de ensaios.

O objetivo deste trabalho é utilizar o planejamento de experimentos para efetuar a análise dos parâmetros que possuem maior influência na variação da espessura e da massa específica de chapas de fibras duras de madeira e, com base nesta análise, prever medidas corretivas que contribuam para a qualidade do produto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Coleta de dados

Os dados deste estudo foram coletados em uma indústria de chapas de fibras duras de madeira, localizada no sul da França.

Visando a uma melhor compreensão da metodologia deste trabalho, foi efetuada uma descrição da linha de produção de painéis de fibras. Esta descrição foi baseada no fluxo de produção apresentado na Figura 1.

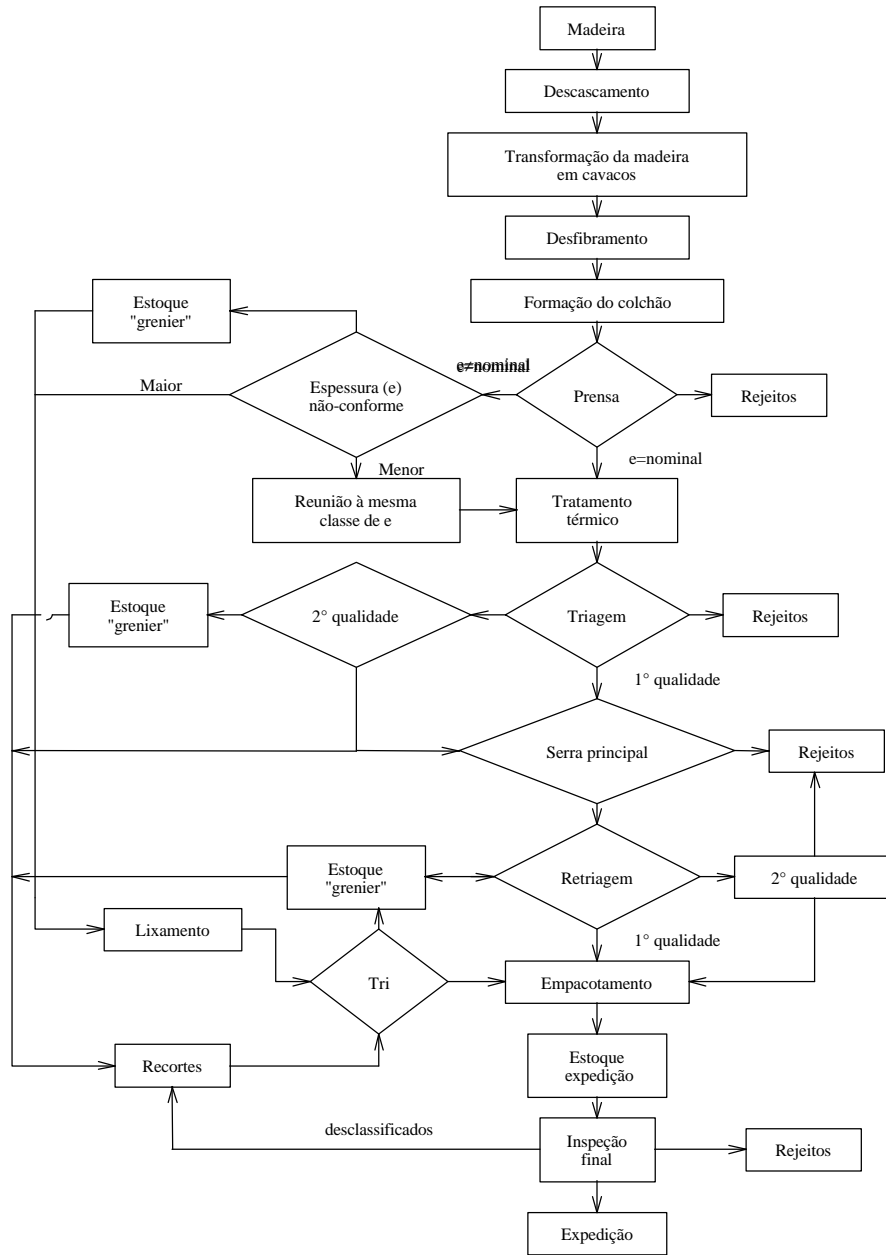


Figura 1. Fluxograma de produção.
 Figure 1. Production flow chart.

O fluxo da produção entre os diversos setores é realizado por meio de esteiras transportadoras, elevadores, roletes, trilhos e empilhadeiras.

1. Descascamento, transformação da madeira em cavacos, desfibramento e formação do colchão: estes setores são quase que totalmente automatizados, ficando a interferência do fator humano restrita à programação dos computadores.

2. Prensa: a prensa, apesar de ser um material adaptado a este processo produtivo, também é controlada por computadores que acionam imediatamente um alarme quando acontecem irregularidades. Na saída da prensa existe um sensor que aciona um comando para a separação automática dos painéis, que apresentam espessuras diferentes das especificadas. Os lotes de espessura maior que a nominal são transportados ao lixamento para serem retrabalhados. Os lotes de espessura menor que a nominal são reunidos em pacotes de mesma classe e aguardam que sejam programadas produções com estas espessuras para comporem um mesmo lote.

3. Tratamento térmico: a secagem e climatização são realizadas em estufas, durante um período mínimo de 6 horas.

4. Triagem: os painéis são submetidos à separação semi-automática. Os painéis que recebem a classificação de primeira qualidade são enviados à serra principal. Aqueles painéis que são desclassificados (segunda qualidade) são separados e retrabalhados ou estocados.

5. Serra principal: a serra principal possui programação computadorizada que permite a otimização dos cortes dos painéis, de acordo com o programado.

6. Empacotamento: os painéis são empilhados e amarrados com uma fita metálica

7. Estoque/expedição: após o empacotamento, as pilhas são transportadas via empilhadeira até o galpão de expedição.

8. Inspeção final: realizada pelo controle de qualidade, tem por objetivo evitar que produtos que não estejam de acordo cheguem até o cliente.

9. Recortes: o setor de recortes procura valorizar aqueles painéis que não atingiram o mercado, seja por apresentarem não conformidades, seja por um excesso de produção. Estes painéis são transformados em outros formatos para atingir as exigências de um mercado alternativo.

10. Lixamento: o lixamento é efetuado para colocar os painéis que possuem a espessura acima da nominal, de acordo com as especificações de produção.

11. Estoques: existem três formas de estoques no processo:

- estoque em curso da produção: é formado ou pela produção excedente ou por um gargalo de produção;

- estoque "grenier": conta com lotes que estão estocados desde algumas horas até vários anos;

- estoque da expedição: material aguardando expedição e material vetado para expedição pelo controle de qualidade.

2.2. Pré-amostragem realizada

Antes de realizar o planejamento de experimentos, é preciso um certo conhecimento dos fenômenos que agem sobre o processo estudado, para que o planejamento possa ser bem definido. É preciso, sobretudo, considerar que um planejamento de experimentos conduzido classicamente traz uma compreensão das interações entre os parâmetros estudados, mas também poderá trazer uma prova eventual contra idéias preconcebidas do comportamento do processo.

Para o conhecimento do processo, foi realizada uma pré-amostragem efetuada na saída da prensa, de onde coletaram-se trinta amostras com vinte repetições cada. Após esta fase, foram realizados cálculos para a construção de cartas

de controle por variáveis e determinação da capacidade da máquina, no caso, a prensa. Estes foram os dados de base para o planejamento de experimentos utilizado.

2.3. Modelo utilizado e considerações iniciais

O estudo foi baseado na técnica de planos fracionários em dois níveis, cuja configuração corresponde ao modelo descrito por Lochner e Matar (1990). Este modelo já foi amplamente discutida por Taguchi (Ross, 1991) para aplicações em programas de controle de qualidade, nos quais ele propõe um número limitado de tábuas ortogonais, facilitando os cálculos pela rapidez e facilidade de emprego das tábuas.

Por meio de observações *in loco*, constatou-se que os desvios entre as especificações e a média encontrada, principalmente com relação à espessura dos painéis, são muito importantes. No caso escolhido, optou-se por um planejamento completo (oito ensaios e três fatores), objetivando conhecer todas as interações. Todas as combinações foram consideradas. Desta maneira, foi utilizada uma das múltiplas vantagens do planejamento de experimentos: a diminuição dos números de ensaios.

A escolha dos três fatores foi definida juntamente com os responsáveis de produção da empresa, em que foram coletados os dados deste estudo durante um período de três meses:

Fator A: trata-se da presença ou ausência de placas de compensação sobre cada prato da prensa colocado em função dos resultados da determinação da cartografia da prensa realizada anteriormente (Bonduelle, 1995).

A cartografia da prensa dá a informação da uniformidade de espessura de cada um dos trinta pratos da prensa. No caso de irregularidades, acrescentam-se placas metálicas finas (de alguns décimos de mm) nas regiões mais abertas,

permitindo reconstituir a uniformidade em espessura sobre a totalidade da superfície do painel. Deve-se observar que estas compensações são freqüentemente realizadas nas extremidades dos painéis que estão em posição mais elevadas (pratos de números 1 a 8), tal como apresentado na Figura 2.

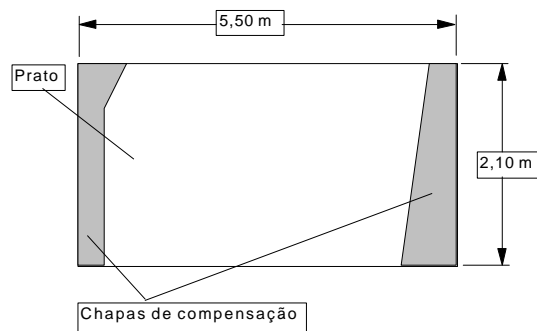


Figura 2. Esquema da compensação dos pratos da prensa
Figure 2. Press platens compensation chart.

Fator B: Relativo ao momento no qual a medida foi feita. Como o ciclo de produção nesta empresa dura três semanas contínuas, foi constatado que existem variações no decorrer do ciclo e que, aparentemente, são mais importantes no início do ciclo de três semanas de produção que ao final deste. A Figura 3 esquematiza a amostragem escolhida para avaliar o fator B.

Fator C: Considera a posição do prato amostrado. Verificou-se que os pratos superiores apresentam maiores variações e, segundo os responsáveis da produção, estes mesmos pratos dão origem a painéis mais espessos. A Figura 4 indica, de maneira esquemática, a posição das amostragens em relação aos trinta pratos que compõem a prensa.

A Tabela 1 mostra, resumidamente, os três fatores considerados, assim como seus dois níveis respectivos.

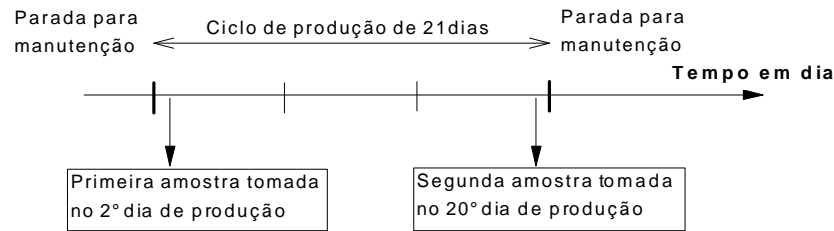


Figura 3. Amostragem escolhida para avaliação do Fator B
Figure 3. Chosen sampling method for evaluating the b factor.

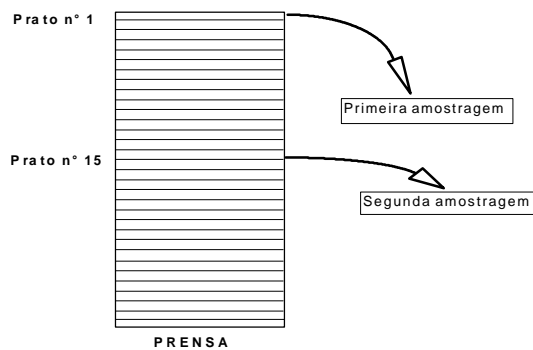


Figura 4. Amostragem escolhida para o Fator C
Figure 4. Chosen sampling method for evaluating the c factor.

Tabela 1. Esquema do planejamento de experimento utilizado
Table 1. Chart of the planning of the used experiment.

Fator	Nível baixo	Nível alto
A Placa de compensação	Sem	Com
B Amostragem	2º dia	20º dia
C Posição do prato amostrado	Nº 1	Nº 15

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios foram realizados em ordem aleatória, tal como é recomendado pelos especialistas. Os dados que foram objeto do experimento são apresentados na Tabela 2.

Observa-se que a média global medida foi de 3,259 mm de espessura. Os efeitos dos fatores e das interações foram calculados com a ajuda

desta mesma Tabela e são representados graficamente na Figura 5.

O planejamento tem por objetivo obter especificação da espessura nominal de 3,20 mm, com tolerâncias de $\pm 0,20$ mm, controlando os fatores mais importantes.

A Tabela 2 e a Figura 5 evidenciam, por um lado, os efeitos dos fatores A e C e, por outro lado, a interação AB. É sempre interessante lembrar que um efeito é mais significativo, quando ele é superior ou igual à tolerância especificada.

A interação AB pode ser observada pela Figura 6.

Pela Figura 6 pode-se fazer duas constatações: de uma parte, qualquer que seja o dia da amostragem (qualquer que seja o nível de B) é preferível utilizar as placas de compensação (fator A no nível 2) e, por outro lado, é interessante salientar que o nível 2 do fator B é mais estável. Em outras palavras, as espessuras do painel são mais homogêneas no final da prensagem que no início do ciclo de três semanas.

A interação BC, um pouco mais significativa (efeito = -0,08), representada pela Figura 7, indica claramente que o prato n° 15 dá ao painel uma espessura mais constante que o prato n° 1 (fator C no nível 2).

Tabela 2. Respostas obtidas com planejamento de experimentos
 Table 2. Answers obtained with the planing of the experiments

Ordem aleatória dos ensaios	Ordem normal dos ensaios	Valores das espostas	A : Chapa de comp.		C : Ciclo		C : Prato		Interação D = BC		Interação E = ABC		Interação F = AB		Interação G = AC	
			Sem 1	Com 2	Início 1	Final 2	n° 1	n° 15	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3,42	3,42		3,42		3,42		3,42	3,42	3,42		3,42		3,42	
4	2	3,39	3,39		3,39		3,39	3,39	3,39		3,39		3,39		3,39	
6	3	3,48	3,48			3,48	3,48	3,48			3,48	3,48			3,48	
7	4	3,16	3,16			3,16	3,16		3,16	3,16		3,16		3,16		
8	5	3,08		3,08	3,08		3,08		3,08		3,08	3,08	3,08		3,08	
5	6	3,03		3,03	3,03		3,03	3,03	3,03		3,03		3,03		3,03	
3	7	3,29		3,29		3,29	3,29	3,29	3,29		3,29		3,29	3,29	3,29	
2	8	3,22		3,22		3,22	3,22		3,22		3,22		3,22		3,22	
Total		26,07	13,45	12,62	12,92	13,15	13,27	12,8	13,19	12,88	12,9	13,17	12,75	13,32	12,92	13,15
Número de valores		8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Média		3,259	3,363	3,155	3,230	3,288	3,318	3,200	3,298	3,220	3,225	3,293	3,188	3,330	3,230	3,288
Efeito				-0,21		0,06		-0,12		-0,08		0,07		0,14		0,06

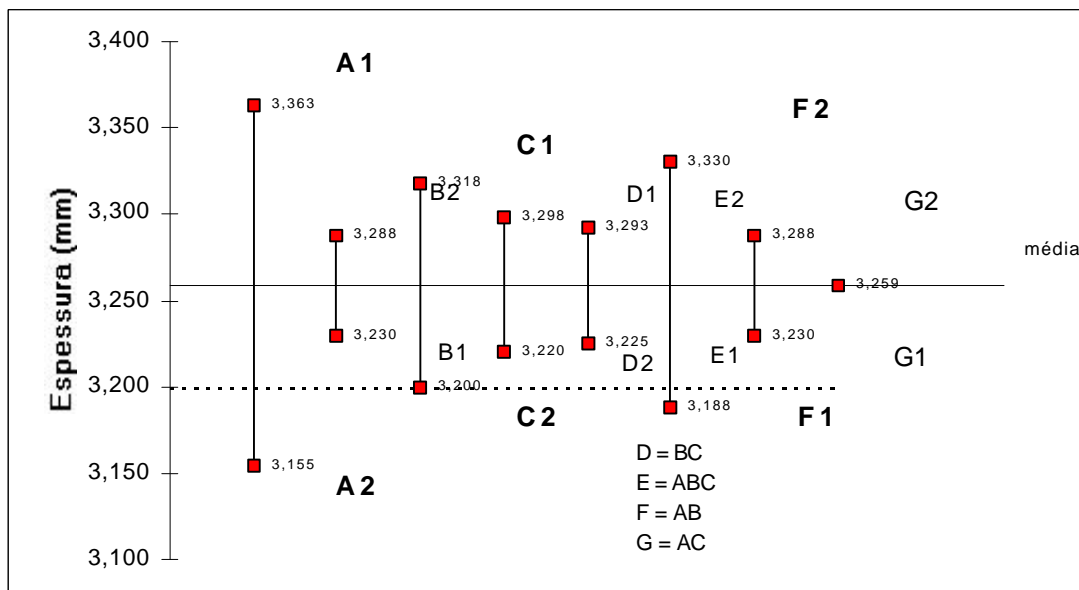


Figura 5. Efeitos dos fatores e suas interações
 Figure 5. Factor effects and theirs interactions

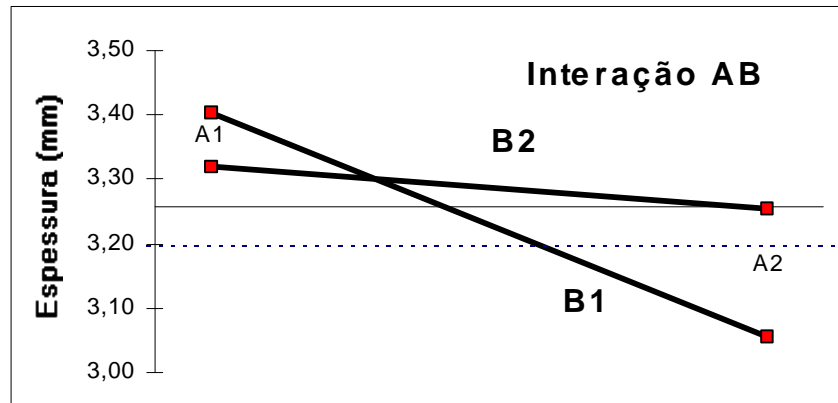


Figura 6. Interação entre os fatores a e b
 Figure 6. Interactions between a and b factors

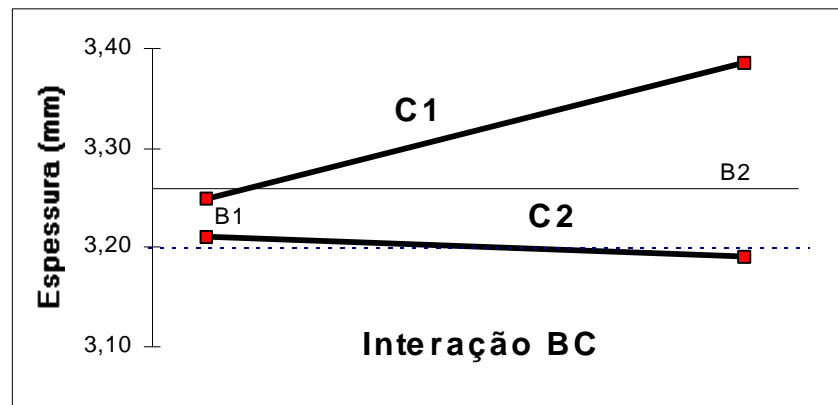


Figura 7. Interação entre os fatores b e c
 Figure 7. Interactions between b and c factors

A interação AC, ainda mais significativa (Figura 8), mostra novamente que o prato nº 15 leva a uma homogeneidade de espessura maior (fator C no nível 2). Por outro lado, seria preferível deixar o prato nº 1, quando são utilizadas placas de compensação.

Pode-se observar, pela Figura 8, todo o interesse de um planejamento de experimento.

De fato, caso tivesse sido aplicado um experimento clássico (que utiliza a análise individual da variação de um parâmetro), o início do ciclo de prensagem teria sido escolhido para obter-se uma espessura do painel mais fiel à especificação 3,20mm, quando, na realidade, é preferível, em razão das interações com o Fator A, de escolher o final do ciclo de prensagem

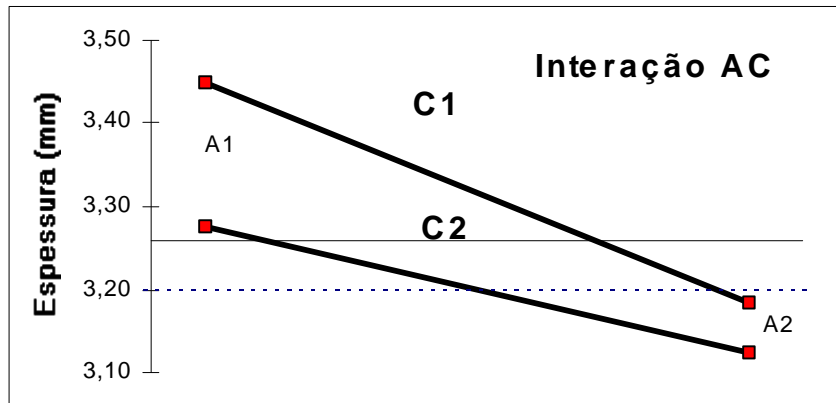


Figura 8. Interação entre os fatores a e c
 Figure 8. Interactions between a and c factors

(fator B no nível 2). Este fenômeno é explicado por características envolvidas na regulagem da prensa que leva alguns dias para “regular-se” em função da pressão solicitada.

Encontram-se representadas esquematicamente na Figura 9 as oito combinações para estes três fatores. Consta-se que a combinação A2-B2-C2 (em segundo plano e em pontilhado sobre a Figura 9) é a mais próxima da especificação escolhida.

A pesquisa considerou ainda alguns aspectos de gerenciamento e constatou que as principais dificuldades encontradas no desenvolvimento da pesquisa foram: a resistência a mudanças e inovações; a falta de visão da gerência do controle de qualidade; a incompatibilidade entre os relatórios do setor de produção e setor de expedição; a ineficiência do equipamento; a ausência de gestão de estoques e a falta de rastreabilidade no processo.

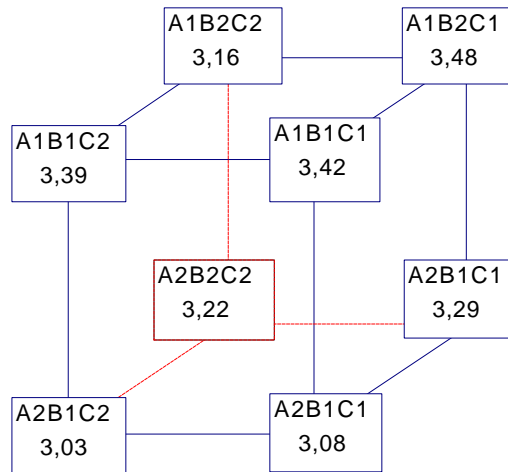


Figura 9. Representação de todas as interações sob forma tridimensional
 Figure 9. Tridimensional representation of all interactions.

4. CONCLUSÕES

- O planejamento de experimentos apresenta-se como uma ferramenta de apoio muito eficaz na tomada de decisão de medidas que visem à melhoria da qualidade do produto.

- O planejamento de experimentos realizado sobre a prensa permitiu constatar que, para a redução da variação da espessura dos painéis, é preferível utilizar telas de compensação e que as espessuras são mais homogêneas no final do ciclo de produção de três semanas.

- Com relação à posição dos pratos da prensa, os painéis são mais estáveis no que diz respeito à espessura, quando prensados nos pratos superiores do que nos inferiores.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BONDUELLE, Arnaud. **Caractérisation du panneau de particules surface mélaminé par son aptitude a l'usinabilité.** Nancy, 1994. 205p. Thèse (Doctorat) - Université de Nancy I. 205p.
- GOUPY, J. **La méthode des plans d'expériences.** Paris: Dunod, 1988. 303p.
- LOCHNER, Roberto H. , MATAR, Joseph E. **Conception de la qualité : les plans d'expériences.** Paris : Afnor, 1990. 230p.
- ROSS, Phillip. J. **Aplicações das técnicas Taguchi na engenharia da qualidade.** São Paulo: Makron, 1991. 333p.
- SPIEGEL, Murray R. **Théorie et applications de la statistique.** Paris: McGrawHill, 1982. 580p.
- VIGIER, Michel G. **Pratique des plans d'expériences: méthodologie Taguchi.** Paris: Les Editions d'Organisation, 1988. 231p.