

Universidade de São Paulo – USP

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz –  
ESALQ

Análise da Eficiência da Colheita Mecânica de  
Café a Partir de Dados Georreferenciados

Aluno: Marcos Nascimbem Ferraz  
Orientador: José Paulo Molin

Piracicaba  
Estado de São Paulo – Brasil  
Outubro 2008

## ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA COLHEITA MECÂNICA DE CAFÉ A PARTIR DE DADOS GEORREFERENCIADOS

<sup>1</sup> Marcos Nascimbem Ferraz, <sup>2</sup> José Paulo Molin

**RESUMO:** Estudos mostram a possibilidade de análise das operações de colheita de forma densa e representativa através dos dados georreferenciados. O objetivo deste trabalho foi analisar a operação de colheita mecanizada do café utilizando a metodologia proposta por MOLIN *et al.* (2006), através de dados georreferenciados obtidos a partir de um monitor de produtividade instalado na colhedora, sem custo adicional para produtores que dispõem deste equipamento. Foram utilizados dados obtidos com o uso de um monitor de produtividade instalado em uma colhedora de café marca Jacto, modelo K3, em três lavouras de café, uma situada no município de Gália, SP (1) e duas no município de Patrocínio, MG (2 e 3), nos anos de 2005, 2006 e 2007. Foi calculada a velocidade, de forma espacializada para cada ponto utilizando o tempo e a distância entre os pontos. Os tempos gastos em cada ponto foram classificados em classes como tempo de colheita (Tcol), de manobra (Tm), e tempos problemas (Tp), não ligados diretamente à operação. Os tempos foram totalizados e mapeados para visualização. A partir destas classes de tempos foram calculadas as eficiências de campo (EC), gerencial (EG) e a global (EGL), de acordo com fórmulas adaptadas a partir das propostas de GAGO (1986). As capacidades das operações de campo (CC) e de processamento (CP) foram calculadas com base nos conceitos definidos por MIALHE (1974) e também foram definidas de forma espacializada gerando mapas. A eficiência global e as capacidades foram também calculadas a partir de informações referentes à ativação do monitor, de modo a quantificar as paradas rápidas. A metodologia se mostrou eficaz para a obtenção destes parâmetros e mapas, auxiliando o gerenciamento da operação sem gerar custos adicionais aos que já possuem o monitor de produtividade.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrônômica, Estagiário <sup>2</sup> Prof., Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP

## INTRODUÇÃO

A cultura do café envolve uma atividade de elevado custo. A colheita corresponde a 40% do custo de produção, demandando grande contingente de mão de obra (oLIVEIRA & sILVA, 2006). Dentro do sistema produtivo do café brasileiro a colheita manual tem sido um fator limitante devido à falta de mão de obra, tempo e custo operacional; portanto, a mecanização da colheita é a grande saída para o Brasil continuar na liderança mundial dos produtores de café (SILVA *et al.*, 2003).

Tecnologias de produção e formas alternativas de condução da cafeicultura, em diferentes talhões, a custos mínimos e produção máxima por fator, constituem o desafio para a gestão do negócio café em todos os níveis e regiões de produção (TEIXEIRA & MILHOMEM, 2001).

Informações acerca da capacidade operacional são de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando nas decisões a serem tomadas pela administração visando a sua otimização. A habilidade de uma máquina para desempenhar eficientemente sua função, trabalhando em um ambiente qualquer, é um critério importante que afeta decisões sobre o seu gerenciamento (TAYLOR *et al.*, 2002).

Os dados georreferenciados podem também ter um papel importante na operação e gerenciamento de máquinas agrícolas. Os dados adquiridos durante a colheita fornecem informações relativas a características operacionais da colhedora como velocidade, percursos realizados, produtividade e tempo de descarga, bem como influências do relevo e características do operador sobre a capacidade de campo da colhedora (GRISSE *et al.*, 2002).

Em uma análise semelhante feita para a colheita de cereais, Molin *et al.* (2006) obtiveram parâmetros de desempenho da colheita, como capacidade de campo efetiva, capacidade de processamento e eficiência da operação a partir de amostragem densa e representativa de todo o talhão, sem custo adicional para os produtores que dispõem dos monitores de produtividade, além de análises específicas que podem auxiliar a explicar as variações localizadas dos parâmetros da colheita dentro de um talhão, enfatizando também a possibilidade do uso desta metodologia em operações agrícolas similares.

Considerando estas possibilidades, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da colheita mecanizada de café utilizando a metodologia proposta por Molin *et al.* (2006) com algumas adaptações, de modo a adequá-la às condições específicas desta operação e desenvolver ajustes na metodologia de classificação de intervalos de tempos.

## MATERIAL E MÉTODO

Foram utilizados dados obtidos com o uso de um monitor de produtividade instalado em uma colhedora de café marca Jacto, modelo K3, em três lavouras de café, uma situada no município de Gália, SP e duas no município de Patrocínio, MG. As especificações destas áreas e a denominação utilizada estão na Tabela 1.

Tabela 1: Localização, datas, produção e área colhida das operações estudadas.

Talhão	ano	local	Área colhida	produção
G-05	2005	Gália (SP)	8,44	5701
G-06	2006	Gália (SP)	2,24	4038
G-07	2007	Gália (SP)	8,46	740
D-06A	2006	Patrocínio(MG) Faz.Dois Irmãos	2,09	3530
D-06B	2006	Patrocínio(MG) Faz.Dois Irmãos	2,70	4795
D-07A	2007	Patrocínio(MG) Faz.Dois Irmãos	5,85	5052
D-07B	2007	Patrocínio(MG) Faz.Dois Irmãos	5,46	5013
A-07A	2007	Patrocínio (MG) Faz. Arroz	2,03	4554
A-07B	2007	Patrocínio (MG) Faz. Arroz	1,81	4144

Para a análise dos dados utilizou-se o Sistema de Informação Geográfica SSToolbox (SST Development Group®) e a planilha de cálculo do Excel (Microsoft®). Os dados foram trabalhados usando a metodologia proposta por Molin *et al.* (2006) com adaptações.

A velocidade de operação foi calculada de forma espacializada a partir da distância e do tempo gasto entre cada ponto de coleta de dados. Foram definidas três classes de tempos a partir de uma avaliação durante a colheita: Tcol - refere-se ao tempo produtivo da máquina realizando a colheita e correspondente ao intervalo de 0 a 12 s; Tm - tempos de manobra, no intervalo de 12 a 300 s; Tp – tempos-problema, maiores que 300 s, que são aqueles tempos não ligados diretamente à operação. Os tempos também foram definidos a cada ponto a partir de intervalos entre os horários de coleta e mapeados para melhor visualização e gerenciamento.

A partir dos tempos de colheita, realizou-se o somatório dos tempos totais de cada classe de diferença de tempos calculando-se a eficiência da operação, de acordo com o trabalho de Molin *et al.*: campo (EC), gerencial (EG) e global (EGL). Para tanto foram utilizadas as equações (1), (2) e (3), respectivamente:

$$EC = [Tcol / (Tcol + Tm)] * 100 \quad (1)$$

em que:

EC - eficiência de campo, %;

Tcol - tempo produtivo da máquina realizando a colheita, s;

Tm - tempos de manobra, s;

$$EG = [(Tcol + Tm) / (Tcol + Tm + Tp)] * 100 \quad (2)$$

em que:

EG - eficiência gerencial, %;

Tp – tempo-problema, s.

$$EGL = [Tcol / (Tcol + Tm + Tp)] * 100 \quad (3)$$

em que:

EGL – eficiência global, %.

A EC indica o quão eficiente é o sistema no que diz respeito à influência dos tempos de manobra. A EG indica a influência dos tempos parados sobre a operação. A EGL indica o quanto do tempo total de campo disponível realmente está sendo utilizado para a colheita.

As capacidades de campo efetiva e de produção, tendo os tempos transformados para horas, foram calculadas com base nos conceitos definidos por esta metodologia:

$$CcE = AT / Tcol \quad (4)$$

em que:

CcE - capacidade de campo efetiva, ha h<sup>-1</sup>;

AT - área trabalhada, ha.

$$CP = QC / Tcol \quad (5)$$

em que:

CP - capacidade de processamento, kg h<sup>-1</sup>;

QC - quantidade colhida, kg.

O desempenho de uma colhedora, no entanto é fortemente relacionado com a quantidade colhida (produtividade da lavoura). Portanto, a capacidade de processamento expressa melhor seu desempenho. As capacidades também foram calculadas de maneira localizada gerando mapas.

Alternativamente desenvolveu-se uma adaptação ao método inicial pela maneira de classificar os tempos, de modo que seja possível diferenciar todas as paradas, mesmo as com intervalos curtos de tempo.

O monitor de produtividade em questão foi programado para coletar dados a cada 10 segundos e contém um cronômetro interno, que marca o tempo somente quando o monitor está ativado, ou seja, a máquina está colhendo. Definindo o intervalo de tempo de acordo com este cronômetro, têm-se intervalos de 10 segundos apenas, com algumas exceções. Estas exceções definem o local em que a máquina parou de colher, em que o monitor foi desativado.

Para quantificar o tempo parado utilizou-se os intervalos entre os horários das coletas nos pontos onde a máquina parou, marcados pelo relógio do GPS, utilizado no método inicial. Para diferenciar estes tempos entre manobra e problema foram utilizados dados referentes ao deslocamento da máquina, que corresponde aos intervalos de distância marcados pelo monitor. Assim, se a máquina parou e religou sem se deslocar, parou devido a problemas, se ela se deslocou, a parada equivaleu a uma manobra. Com os tempos definidos, os cálculos foram efetuados para as duas formas de classificação de tempos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os primeiros resultados obtidos foram os mapas de velocidades mostrando a variação espacial das velocidades de operação durante a colheita, como mostrado na Figura 1, sendo de grande utilidade na avaliação das causas espacializadas das variações das eficiências de colheita. Para a colheita de café, velocidades menores podem significar um maior volume de frutos recolhidos e um menor gasto com operação de repasse e varrição (OLIVEIRA *et al.* 2007), assim como maiores velocidades podem significar maiores capacidades de campo efetivas.

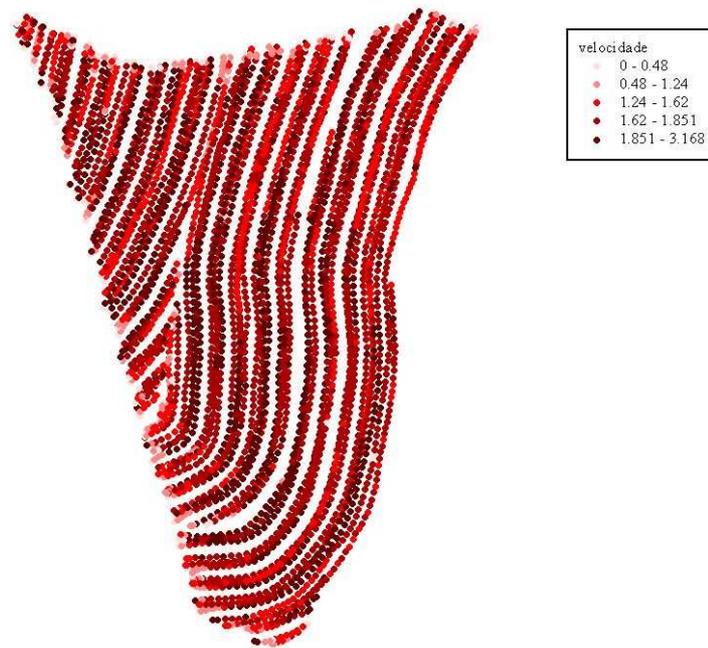


Figura 1- Velocidade da operação de colheita ( $\text{km h}^{-1}$ ) do café no talhão G-07.

Na Figura 2 é apresentado o mapa das classes de tempo usado na metodologia original de Molin *et al.* (2006), que apresenta o local das manobras e dos problemas ocorridos durante a colheita na área.

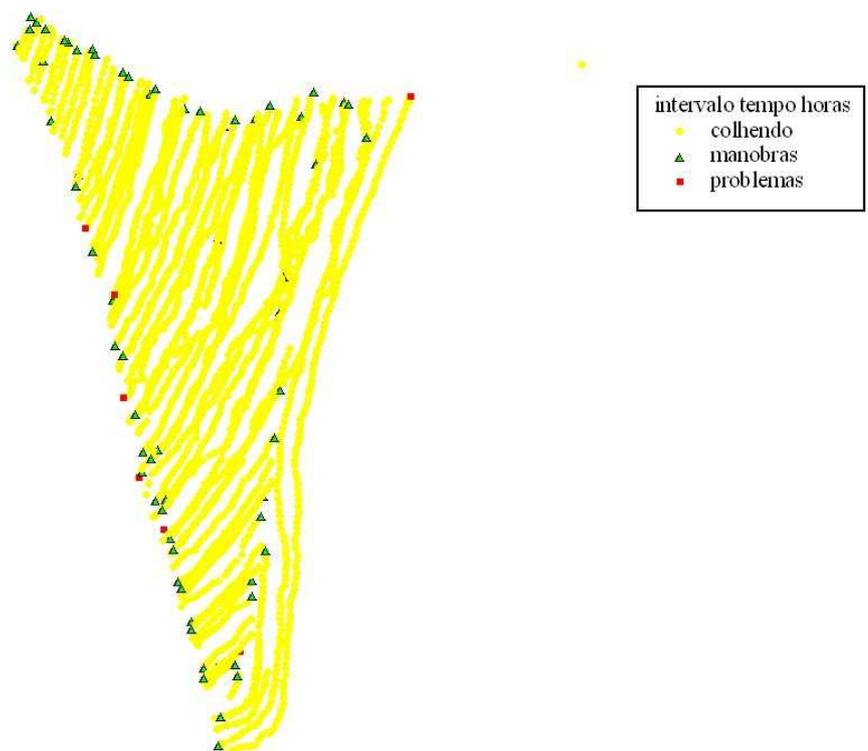


Figura 2- Classes de diferenças de tempos (segundos) na operação de colheita no talhão G-06.

Os resultados do somatório dos tempos totais, em horas, de cada classe de diferença de tempos, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Tempos totais durante a colheita para as classes de diferença de tempos nas condições estudadas

TALHÃO	TEMPOS(H)			
	Total	Tcol	Tm	Tp
G-05	31,46	15,03	2,44	13,99
G-06	14,68	7,79	1,51	5,39
G-07	18,94	12,28	2,27	4,38
D-06A	9,75	7,18	0,79	1,78
D-06B	15,80	8,15	0,84	6,81
D-07A	21,11	13,93	1,03	6,14
D-07B	28,38	9,17	0,69	18,52
A-07A	11,61	8,91	1,05	1,65
A-07B	8,62	6,06	1,26	1,30

Total – Tempo total ; Tcol – Tempo colhendo ; Tm – tempo manobra ; Tp- Tempo problema

A tabela 3 mostra as eficiências de campo (EC), gerencial (EG), e global (EGL) totais calculadas por estes tempos para cada talhão.

Tabela 3- Valores totais da eficiência de campo (EC), eficiência gerencial (EG), eficiência global (EGL), para a operação de colheita dos 9 talhões

TALHÃO	EFICIÊNCIAS (%)		
	EC	EG	EGL
G-05	86,0	55,5	47,8
G-06	83,8	63,3	53,0
G-07	84,4	76,9	64,9
D-06A	90,1	81,7	73,6
D-06B	90,6	56,9	51,6
D-07A	86,2	59,2	51,1
D-07B	93,0	34,7	32,3
A-07A	89,4	85,8	76,7
A-07B	82,8	84,9	70,2

EC- eficiência de campo ; EG- eficiência gerencial ; EGL- eficiência global

As capacidades de campo efetiva (CC) e de processamento (CP) são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 - Capacidade de campo efetiva (CcE) e capacidade de processamentos (CP) totais dos talhões estudados.

TALHÃO	Capacidades	
	CcE (ha h <sup>-1</sup> )	CP (Kg h <sup>-1</sup> )
G-05	0,562	379,3
G-06	0,288	518,4
G-07	0,689	60,2
D-06A	0,290	491,6
D-06B	0,335	594,5
D-07A	0,424	366,5
D-07B	0,599	549,8
A-07A	0,228	511,2
A-07B	0,299	684,3

CcE- capacidade de campo efetiva ; CP- capacidade de processamento

As capacidades foram também calculadas de maneira localizada gerando informações valiosas para a identificação de fatores que influenciaram os parâmetros de desempenho das colhedoras através da correlação com outros dados como produtividades, relevo, tamanho do pé de café, produtividade, etc. A Figura 3 mostra o mapa de capacidade de campo efetiva do talhão D-06B e sua produtividade e na Figura 4 observa-se o mapa de capacidade de processamento do talhão D-07A e a sua produtividade mostrando a relação deste fator com as diferentes capacidades.

Colhedora 2: 06 (06.9 ha.)

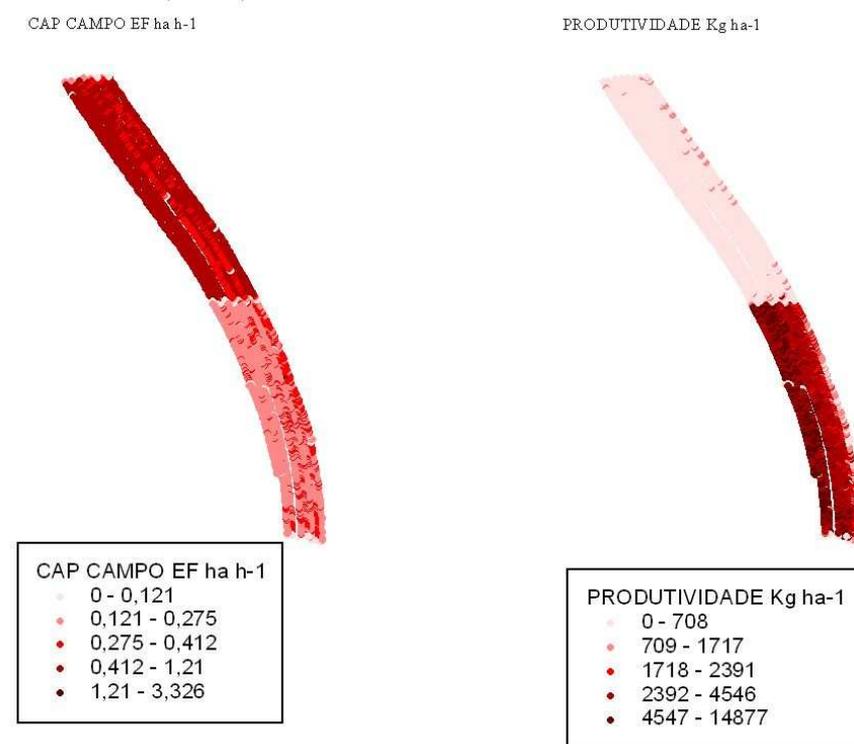


Figura 3 - Exemplo da capacidade de campo efetiva (CcE) localizada da operação e da produtividade localizada da colheita no talhão D-06B.

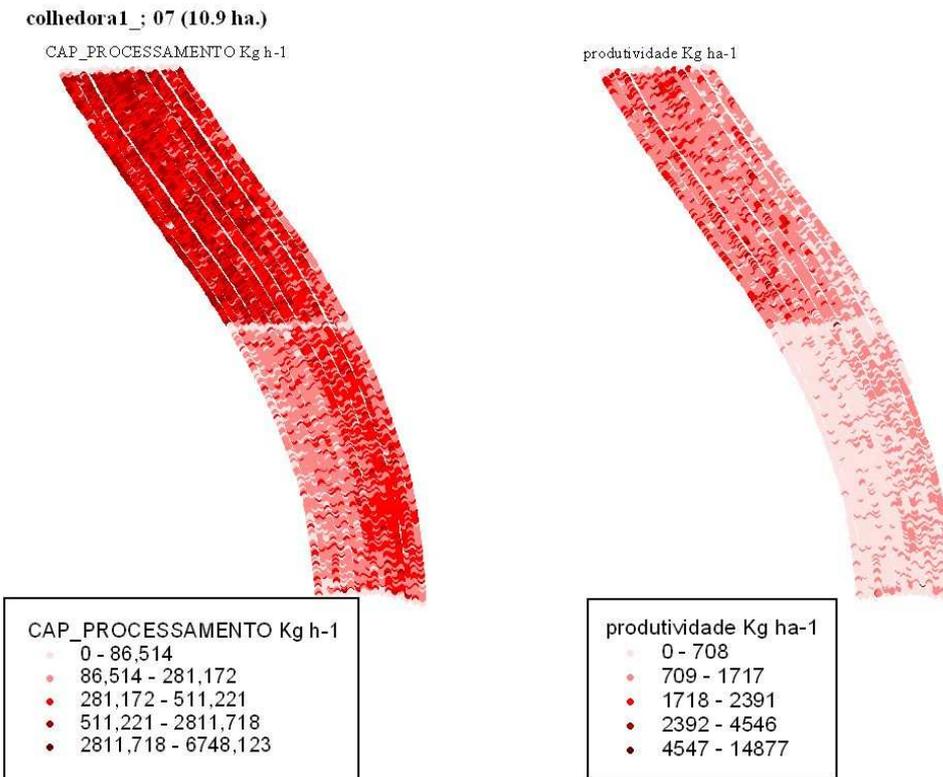


Figura 4 - Exemplo da capacidade de processamento (CP) localizada da operação e da produtividade localizada da colheita no talhão D-07A. Unidades entre parêntesis

Observa-se a influência da produção nas capacidades analisadas, mostrando que a capacidade de processamento expressa melhor o desempenho da colhedora, pois tem forte relação com o volume recolhido, sendo que uma capacidade de campo efetiva alta pode significar perdas com repasse.

Através do intervalo de coleta de dados do cronômetro do monitor de produtividade, foi feito um mapa identificando as paradas, mesmo aquelas com intervalos de tempo curtos (Figura 5) para uma análise mais apurada da operação.

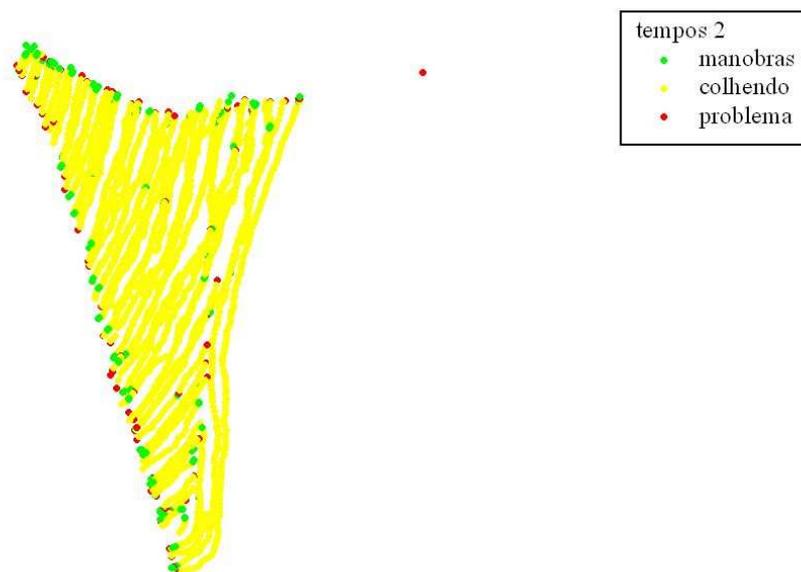


Figura 5 - Mapa identificando as paradas da operação do talhão G-07.

A Figura 6 apresenta as paradas de acordo com essa classificação, separadas em manobras e problemas, de acordo com o deslocamento da máquina.

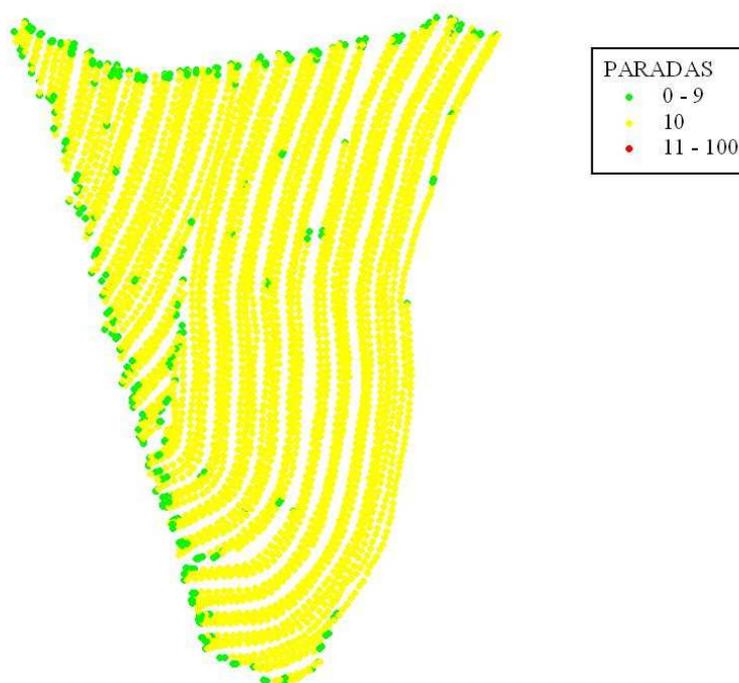


Figura 6 - Mapa classificando as paradas em manobras e problemas, do talhão G-06

A tabela 5 apresenta os tempos totais das classes (tempos colhendo, manobra, e problemas) definidas no mapa da Figura 6.

Tabela 5 - tempos totais das classes dos tempos definidos pela nova classificação

TALHÃO	TEMPOS (H)			
	Total	Tcol	Tm	Tp
G-05	31,38	15,80	4,33	11,25
G-06	14,68	7,54	2,65	4,50
G-07	18,94	11,93	3,16	3,85
D-06A	9,75	6,83	1,19	1,73
D-06B	15,80	8,07	1,29	6,44
D-07A	21,10	13,78	2,74	4,58
D-07B	28,38	9,12	12,38	6,89
A-07A	11,61	8,79	0,88	1,94
A-07B	8,62	5,95	1,16	1,51

Total – Tempo total ; Tcol – Tempo colhendo ; Tm – tempo manobra ; Tp- Tempo problema

Na tabela 6, são apresentados os dados de eficiência de campo, eficiência gerencial e eficiência global calculados com estes tempos.

Tabela 6 - Eficiências calculadas com os dados obtidos a partir da forma alternativa de classificação dos tempos

TALHÃO	EFICIÊNCIA (%)		
	EC	EG	EGL
G-05	78,5	64,1	50,3
G-06	74,0	69,4	51,3
G-07	79,1	79,6	63,0
D-06A	85,2	82,2	70,0
D-06B	86,2	59,2	51,1
D-07A	83,4	78,3	65,3
D-07B	42,4	75,7	32,1
A-07A	90,9	83,3	75,7
A-07B	83,6	82,4	68,9

EC- eficiência de campo ; EG- eficiência gerencial ; EGL- eficiência global

A Tabela 7 mostra as capacidades de campo efetiva e de processamento calculadas com os dados obtidos a partir da classificação de tempos alternativa.

Tabela 7 - Capacidades calculadas com a nova classificação dos tempos.

TALHÃO	CAPACIDADES (%)	
	CcE (ha h <sup>-1</sup> )	CP (Kg h <sup>-1</sup> )
G-05	0,534	360,9
G-06	0,298	535,7
G-07	0,709	62,0
D-06A	0,305	516,9
D-06B	0,332	588,4
D-07A	0,420	362,6
D-07B	0,595	546,7
A-07A	0,231	517,9
A-07B	0,305	697,1

CcE- capacidade de campo efetiva ; CP- capacidade de processamento

Para uma melhor comparação entre os dois modos de classificação de tempos, a Tabela 8 apresenta as diferenças (em módulo) entre os resultados das eficiências e das capacidades obtidos a partir das duas formas de classificação de tempos, bem como a média e o desvio padrão destas diferenças.

Tabela 8 - diferenças entre os resultados obtidos a partir das duas classificações de tempos.

Talhão	EFICIÊNCIAS (%)			CAPACIDADES	
	EC	EG	EGL	CcE (ha h <sup>-1</sup> )	CP(Kg h <sup>-1</sup> )
G-05	7,5	8,6	2,5	0,027	18,43
G-06	9,8	6,1	1,7	0,009	17,29
G-07	5,3	2,7	1,9	0,020	1,80
D-06A	4,9	0,5	3,6	0,015	25,39
D-06B	4,4	2,3	0,5	0,003	6,06
D-07A	2,8	19,1	14,2	0,004	3,93
D-07B	50,6	41	0,2	0,003	3,08
A-07A	1,5	2,5	1	0,002	6,65
A-07B	0,8	2,5	1,3	0,005	12,79
média	9,73	9,478	2,989	0,0103	10,60
Desvio padrão	15,581	13,105	4,329	0,009	8,25

Observa-se nos talhões estudados que a principal mudança nos resultados foram as manobras excessivamente lentas, que haviam sido consideradas problemas ou os problemas rápidos, que haviam sido considerados manobras. Sendo assim os resultados mais afetados foram a Eficiência de Campo e a Eficiência Gerencial, onde a classificação entre manobras e problemas influencia diretamente no resultado. Como a colheita de café é uma operação lenta e os tempos heterogêneos, uma classificação generalizada para todas situações utilizando apenas intervalos de tempos é dificultada sendo necessária um bom conhecimento da operação para realizá-la. O alto desvio padrão apresentado nas eficiências de campo e gerencial mostra a heterogeneidade da operação, sendo que para alguns talhões os métodos foram igualmente eficazes, por possuírem tempos de manobras mais definidos e homogêneos. Porém a primeira classificação, por intervalos de tempos, não necessita realmente de um monitor de produtividade, pois não utiliza dados referentes à ativação do monitor, obtidos do cronômetro do monitor. Com exceção da capacidade de processamento, todos os dados podem ser calculados apenas com um receptor de GPS, mas para a colheita de café, esta classificação deve ser feita com cautela e individualizada para cada situação.

## CONCLUSÕES

A metodologia proposta foi capaz de determinar importantes parâmetros de desempenho a partir de dados obtidos do monitor de produtividade de uma colhedora de café, bem como mapas para visualização visando um melhor gerenciamento da operação e sua otimização. A metodologia proposta por Molin *et al.* (2006), com a classificação de tempos, apesar de apresentar a vantagem de poder ser usada apenas com um receptor GPS comum, deve ser usada com diferentes definições para cada tipo de cultura e maquinário envolvido.

A adaptação na classificação dos intervalos de tempos mostrou ser mais fácil para se automatizar a análise, já que o usuário não necessita conhecer o talhão para avaliar a operação.

O estudo mostrou que dados obtidos a partir de um monitor de produtividade podem gerar importantes parâmetros para análise da operação de colheita mecanizada do café de maneira simples, sendo que análises específicas podem explicar as variações localizadas destes parâmetros.

Os dados foram obtidos sem custo adicional para usuários que já disponibilizam de um monitor de produtividade.

## **BIBLIOGRAFIA**

MOLIN, J.P.; MILAN, M.; NESRALLAH, M.G.T.; CASTRO, C.N. GIMENEZ, L.M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.759-767, set./dez. 2006.

GRISSE, R.D.; JASA, P.J.; ROLOFSON, D. *Field efficiency determination from spatial data*. St. Joseph: ASAE, 2000. 12p. (ASAE Paper No. 001013).

GRISSE, R.D.; JASA, P.J.; ROLOFSON, D. Analysis of traffic patterns and yield monitor data for field efficiency determination. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v. 18, n. 2, p. 171-178. 2002.

OLIVEIRA, E. ; SILVA, F.M. ; SALVADOR, N. ; SOUZA, Z.M. ; CHALFOUN, S.M.; FIGUEIREDO, C.A.P. Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro, Pesq. Agropec. Brás. , Brasília, v.42, n.6, p.827-831,jun.2007

OLIVEIRA, E. & SILVA, M.S. Economia na colheita. **Revista Cultivar Máquinas**, n. 57, p. 10-13, 2006.

SILVA, F.M. ; SALVADOR, N. ; RODRIGUES, R.F. TOURINO, E.S. Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.309-315, maio/ago, 2003.

TEIXEIRA, S.M. ; MILHOMEM, A.V. Tecnologias de produção de café com qualidade, c.02 A competitividade e custos da cafeicultura brasileira,Viçosa, Suprema gráfica e editora LTDA, p. 25-64, 2001.

QUEIROZ, D.M. ; SILVA, F.M. ; NILSON, S. Tecnologias de produção de café com qualidade, c.12 Sistemas mecanizados de colheita de café, Suprema gráfica e editora LTDA, p. 387-467, 2001.

GUIMARÃES, R.V. **Aplicação de geoprocessamento para o aumento da eficiência de percurso em operações agrícolas na cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp.)** Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba, 2004.

TAYLOR, R.K.; SCHROCK, M.D.; STAGGENBORG, S.A. *Extracting machinery management information from GPS data*. St. Joseph: ASAE, 2002. 9p. (ASAE Paper No. 021008).