

# IDENTIFICAÇÃO DE FATORES DA FERTILIDADE QUÍMICA DO SOLO INTERFERINDO NA PRODUTIVIDADE EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

<sup>1</sup>L.M.Gimenez, <sup>2</sup>J.P. Molin (orientador): Departamento de Engenharia Rural – ESALQ/USP

As tentativas de correlacionar os componentes da fertilidade química do solo com a produtividade em Agricultura de Precisão têm apresentado resultados pouco satisfatórios, com correlações bastante baixas. Parte dos problemas encontrados na tentativa de se realizar correlações é o fato de se estudar os efeitos dos nutrientes isoladamente, havendo também problemas na metodologia utilizada nas correlações. A metodologia não tem se mostrado adequada para a identificação do efeito dos fatores ligados à fertilidade química do solo na produtividade devido à grande dispersão encontrada nos dados avaliados. Através da redução na dispersão dos dados com a elevação da área amostral utilizada para a obtenção de valores utilizados nas correlações é possível obter resultados mais satisfatórios, identificando se os efeitos dos fatores estudados é positivo ou negativo para a produtividade. Foram estudadas duas áreas com características de fertilidade química do solo bastante diferentes, sendo realizadas correlações entre os fatores da fertilidade química de solo e a produtividade das culturas de soja e milho em dois anos. Os resultados obtidos permitiram identificar a influência de boa parte dos fatores sobre a produtividade das duas culturas nas duas áreas estudadas. Também ficou evidente a necessidade da descrição detalhada da metodologia empregada em análises de correlações dessa natureza.

<sup>1</sup>Bolsista de Iniciação Científica do CNPq, <sup>2</sup>Prof. Dr. Do Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP

**PALAVRAS CHAVE:** Agricultura de Precisão, variabilidade espacial, fertilidade.

## INTRODUÇÃO

A obtenção de informações detalhadas de vários fatores relacionados à produtividade, possível graças à Agricultura de Precisão, tem tornado bastante frequentes as tentativas de correlacionar e condicionar a produtividade a estes fatores.

A fertilidade química do solo tem sido bastante estudada em agricultura de precisão com a geração dos chamados mapas de fertilidade que permitem visualizar a distribuição dos nutrientes nas glebas de produção. Não há ainda, parâmetros seguros quanto ao número de

amostras, tipo de malha amostral (grid) e profundidade de amostragem entre outros. Este tipo de problema ocorre devido à grande variabilidade dos sistemas produtivos que apresentam solo, clima e manejo bastante diferentes.

As correlações obtidas entre nutrientes presentes no solo e produtividade são na maioria das vezes muito baixas o que pode ser explicado em parte pelo elevado grau de tecnologia empregada nas áreas estudada. Geralmente as áreas destinadas a tais estudos pertencem a instituições de pesquisa ou produtores que se destacam pelas altas produtividades obtidas, em virtude da realização de adubações pesadas e freqüentes correções de solo, reduzindo substancialmente os problemas com a fertilidade química.

O objetivo deste trabalho é fornecer subsídios à realização de correlações entre a produtividade e os teores de nutrientes presentes em campos produtivos sob a visão da Agricultura de Precisão.

## **MATERIAL E MÉTODOS:**

Foram utilizados dados obtidos em duas áreas piloto do Projeto Agricultura de Precisão, do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP.

Estas áreas estão localizadas em propriedades que apresentam clima, solo e manejo diferentes, foram escolhidas na tentativa de isolar os diferentes fatores que poderiam estar condicionando a produtividade.

A primeira área está localizada no município de Campos Novos Paulista, noroeste do estado de São Paulo. A região apresenta como característica marcante a presença de solos de baixa fertilidade, em sua maioria Latossolos.

A gleba possui 22ha e se encontra sob o sistema de plantio direto a cerca de 6 anos, as culturas comerciais são a soja, o milho e o milho safrinha, culturas como a aveia preta são utilizadas para a cobertura do solo no inverno.

Foram utilizados os dados dos mapas de produtividade da cultura do milho colhido em 1999 e da soja colhida em 2000.

Os resultados de análise química do solo utilizados são de uma amostragem realizada em 1998 ao final do ano na profundidade 0 a 20cm, sendo retirada 1 amostra a cada 50m, portanto 4 amostras/ha.

A segunda área está localizada no município de Castro, região sul do estado do Paraná. Esta região é conhecida como berço do sistema Plantio Direto no Brasil, é caracterizada pelos altos rendimentos obtidos pelos agricultores, reconhecidos pela grande capacidade de assimilar novas tecnologias.

A gleba pertence à Fundação ABC, instituição criada e mantida pelos agricultores da região com a função de geração e difusão de tecnologia. Esta gleba possui 23ha e se encontra sob o sistema de plantio direto a mais de 10 anos possuindo elevada fertilidade. São realizados o plantio

comercial de soja, milho e trigo e de coberturas como a aveia e triticales no inverno.

Serão utilizados os mapas de produtividade da cultura da soja colhida em 1999 e do milho colhido em 2000.

Os resultados de análise química do solo utilizados são de uma amostragem realizada ao final de 1998 na profundidade de 0 a 20cm sendo retirada 1 amostra a cada 30m de distância no campo, portanto 10 amostras/ha.

Os dados de produtividade e de fertilidade química foram importados para um SIG voltado à agricultura de precisão. Foram gerados mapas para a produtividade e para cada um dos nutrientes estudados nas profundidades consideradas.

Estes mapas foram obtidos através de interpolação, sendo utilizados os métodos do inverso da distância para a produtividade e da Krigagem para a fertilidade, cada um dos mapas é composto por quadrículas cujo tamanho é de 10 X 10m. As quadrículas de cada mapa possuem coordenadas e podem ser comparadas uma a uma para cada um dos fatores estudados através da junção dos dados de todos os mapas para cada quadrícula o que é possível graças ao SIG.

Obteve-se uma tabela onde para cada quadrícula, ou seja, para cada par de coordenadas (latitude e longitude), tinha-se todos os atributos estudados, sendo estes os dados utilizados nas correlações do tipo linear.

Foram realizadas primeiramente correlações entre todos os dados de fertilidade e de produtividade para as culturas estudadas em cada área.

A área amostral representada por cada dado de produtividade seguido de seus demais atributos era a de uma quadrícula (0,01ha ou 100m<sup>2</sup>).

Sendo obtidas correlações baixas, foi utilizada uma nova metodologia na qual os dados de produtividade foram ordenados da menor para a maior produtividade mantendo-se fixos a estes os valores dos demais atributos. Aumentou-se a área tomada como amostral para 0.5ha, 1ha, 2ha e 5ha que correspondiam respectivamente a 50, 100, 200 e 500 quadrículas através do cálculo da média da produtividade e de todos os demais atributos destas quadrículas, isso foi feito para todos os dados de forma que se obteve ao final, valores médios de produtividade e de cada um dos atributos estudados a cada 50,100, 200 e 500 quadrículas em ordem de produtividade, para a realização das correlações.

## **RESULTADOS E DISSCUSSÃO**

As áreas estudadas apresentam características diferentes, os fatores estudados foram caracterizados por meio de estatística descritiva e os resultados estão presentes nas tabelas 1 e 2.

	Milho 2000	Soja 1999	Fósforo	pH	Potássio	Cálcio	Magnésio	H+Al	Sat. Bases	Soma Bases	CTC
Média	9,955	3,124	80,2	5,1	2,1	41,7	20,5	69,1	48,7	64,3	133,4
Desvio padrão	0,24	0,51	29,26	0,48	0,60	12,32	7,18	24,06	13,60	18,84	20,52
Variância	0,06	0,26	856,11	0,23	0,36	151,70	51,60	579,05	185,02	354,89	420,94
Curtose	0,18	0,75	12,89	0,20	0,02	1,94	0,88	-0,41	-0,03	1,37	0,29
Assimetria	-0,40	-0,51	2,09	0,91	0,26	0,98	0,94	0,32	0,60	0,95	0,79
Intervalo	2,03	3,86	314,95	2,31	3,68	84,26	47,59	126,06	68,28	126,11	111,93
Mínimo	8,574	1,281	28,05	4,333	0,5284	16,74	8,078	21,34	19,75	27,59	89,47
Máximo	10,6	5,144	343	6,646	4,205	101	55,67	147,4	88,03	153,7	201,4

**Tabela 1** – Estatística descritiva dos fatores estudados na área de Castro.

	Soja 2000	Milho 1999	Fósforo	pH	Potássio	Cálcio	Magnésio	H+Al	Sat. Bases	Soma Bases	CTC
Média	2,774	4,815	33,6	5,7	0,8	31,5	14,4	20,4	47,3	69,7	67,8
Desvio padrão	0,30	0,48	13,76	0,35	0,23	7,25	4,78	5,49	11,69	8,49	9,28
Variância	0,09	0,23	189,47	0,13	0,05	52,60	22,85	30,10	136,63	72,02	86,03
Curtose	0,49	0,64	0,41	0,15	2,26	10,22	20,33	0,40	15,67	1,41	25,26
Assimetria	0,30	0,34	0,81	-0,15	1,07	1,84	3,39	0,79	2,66	-0,74	3,70
Intervalo	2,55	4,11	82,84	2,56	1,64	76,38	50,73	31,64	127,93	67,13	104,33
Mínimo	1,71	3,12	10,25	4,42	0,29	8,33	5,16	11,11	14,77	25,54	49,37
Máximo	4,26	7,23	93,09	6,98	1,93	84,71	55,89	42,75	142,70	92,67	153,70

**Tabela 2** – Estatística descritiva dos fatores estudados na área de Campos Novos.

As maiores produtividades são encontradas em Castro, a variância e o desvio padrão para as produtividades não diferiram significativamente nas duas áreas, entretanto o intervalo entre as maiores e menores produtividades é bastante diferente.

Os teores de nutrientes médios encontrados são também diferentes sendo menores em Castro que em Campos Novos. Para Castro, todos os nutrientes exceto a Soma de Bases se encontram em níveis classificados como altos pela pesquisa local. Em Campos Novos somente o teor de Potássio se encontra abaixo do nível considerado adequado pela pesquisa local. Não haveria, portanto problemas sérios de fertilidade em nenhuma das áreas, ainda assim a produtividade variou consideravelmente.

As correlações obtidas para os fatores estudados nas duas áreas nos anos considerados estão expressos nas tabelas 1 a 4.

<b>Soja 1999</b>					
	<b>5ha</b>	<b>2ha</b>	<b>1ha</b>	<b>0,5ha</b>	<b>0,01ha</b>
Soja 1999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Fósforo	-0,669	-0,422	-0,516	-0,571	-0,107
pH	-0,978	-0,970	-0,949	-0,886	-0,343
Potássio	0,916	0,841	0,793	0,574	0,124
Cálcio	-0,773	-0,773	-0,799	-0,743	-0,226
Magnésio	-0,944	-0,912	-0,912	-0,813	-0,263
H+Al	0,991	0,975	0,927	0,857	0,288
Soma Bases	-0,871	-0,849	-0,863	-0,788	-0,244
Sat. Bases	-0,966	-0,954	-0,939	-0,868	-0,296
CTC	0,986	0,846	0,615	0,466	0,114

**Tabela 1** – Coeficientes obtidos na correlação entre os fatores considerados e a Produção Relativa da soja no ano 1999 com diferentes áreas amostrais para Castro.

<b>Milho 2000</b>					
	<b>5ha</b>	<b>2ha</b>	<b>1ha</b>	<b>0,5ha</b>	<b>0,01ha</b>
Milho 2000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Fósforo	-0,929	-0,967	-0,897	-0,882	-0,447
pH	-0,985	-0,947	-0,950	-0,940	-0,631
Potássio	-0,778	-0,918	-0,772	-0,750	-0,295
Cálcio	-0,623	-0,316	-0,406	-0,393	-0,213
Magnésio	-0,727	-0,403	-0,521	-0,504	-0,265
H+Al	0,993	0,974	0,965	0,953	0,633
Soma Bases	-0,683	-0,380	-0,479	-0,464	-0,250
Sat. Bases	-0,941	-0,845	-0,862	-0,846	-0,506
CTC	0,823	0,855	0,833	0,825	0,513

**Tabela 2** – Coeficientes obtidos na correlação entre os fatores considerados e a Produção Relativa do milho no ano 2000 com diferentes áreas amostrais para Castro.

Os coeficientes de correlação obtidos se elevaram com o aumento da parcela experimental em quase todos os casos. As tendências foram sempre as mesmas exceto para o potássio que apresentou comportamento positivo para a soja e negativo para o milho. Os fatores Fósforo, pH, Cálcio, Magnésio, Soma de Bases e Saturação por Bases influenciaram negativamente a produtividade ocorrendo redução da produtividade ao se elevarem seus teores. Os fatores H+Al e CTC influenciaram positivamente a produtividade.

<b>Milho 1999</b>					
	<b>5ha</b>	<b>2ha</b>	<b>1ha</b>	<b>0,5ha</b>	<b>0,01ha</b>
Milho 1999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Fósforo	0,963	0,748	0,609	0,496	0,077
pH	0,933	0,823	0,629	0,527	0,102
Potássio	0,452	0,177	-0,087	0,042	0,016
Cálcio	0,984	0,203	-0,120	-0,107	-0,021
Magnésio	-0,479	-0,413	-0,474	-0,389	-0,074
H+Al	-0,932	-0,817	-0,657	-0,535	-0,100
Soma Bases	-0,698	-0,421	-0,469	-0,400	-0,078
Sat. Bases	0,908	0,732	0,490	0,405	0,061
CTC	-0,980	-0,904	-0,822	-0,691	-0,133

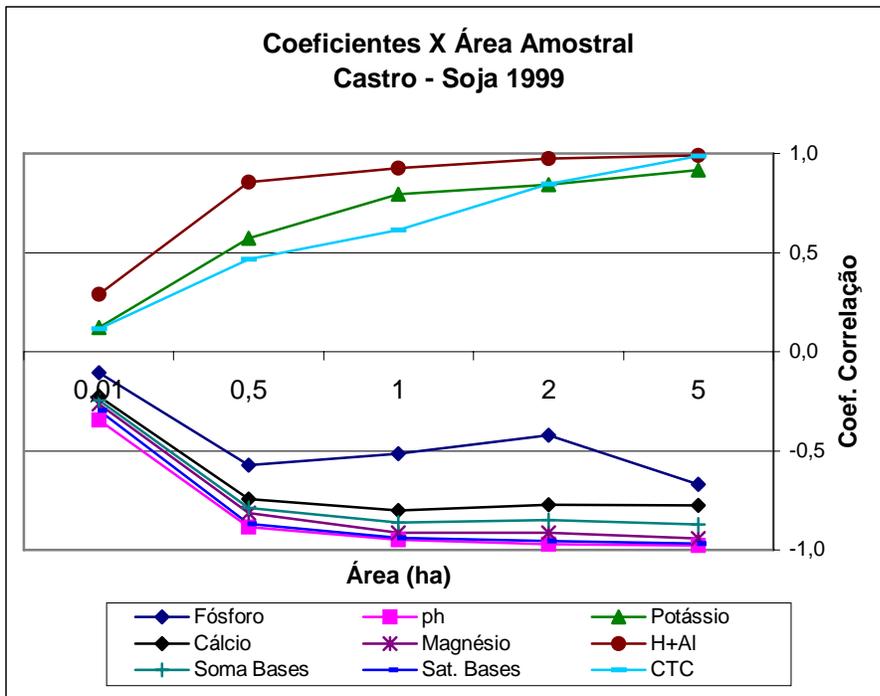
**Tabela 3** – Coeficientes obtidos na correlação entre os fatores considerados e a Produção Relativa do milho no ano 1999 com diferentes áreas amostrais para Campos Novos.

<b>Soja 2000</b>					
	<b>5ha</b>	<b>2ha</b>	<b>1ha</b>	<b>0,5ha</b>	<b>0,01ha</b>
Soja 2000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Fósforo	0,980	0,817	0,797	0,775	0,229
pH	0,916	0,852	0,832	0,741	0,157
Potássio	-0,401	-0,056	0,120	0,301	0,048
Cálcio	0,972	0,829	0,731	0,649	0,132
Magnésio	0,984	0,689	0,679	0,674	0,150
H+Al	-0,902	-0,896	-0,874	-0,790	-0,201
Soma Bases	0,953	0,702	0,671	0,640	0,125
Sat. Bases	0,944	0,876	0,830	0,776	0,167
CTC	0,382	0,172	0,215	0,295	0,039

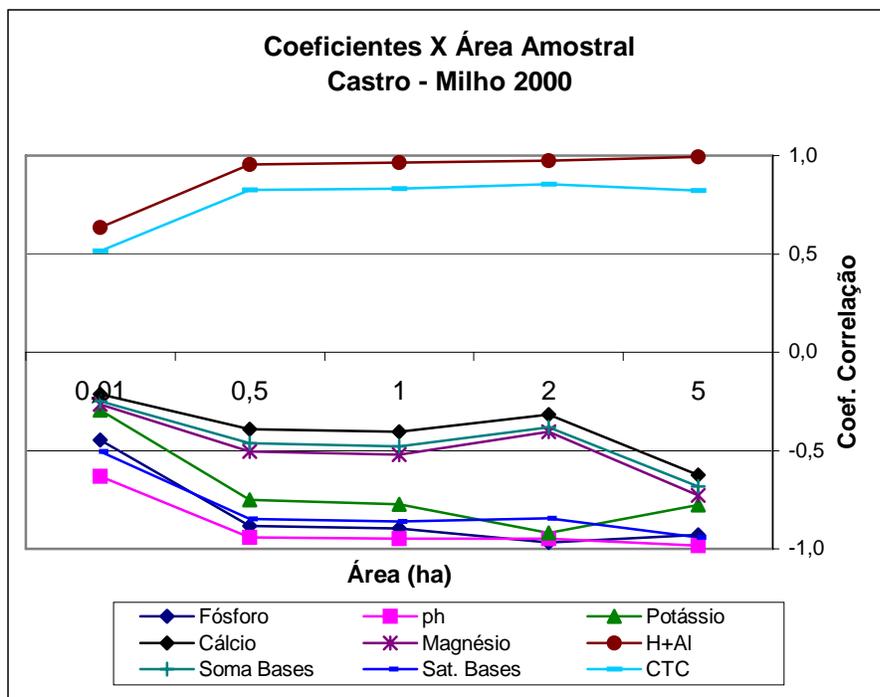
**Tabela 4** – Coeficientes obtidos na correlação entre os fatores considerados e a Produção Relativa da soja no ano 2000 com diferentes áreas amostrais para Campos Novos.

Em Campos Novos também ocorreu elevação dos coeficientes de correlação com o aumento da área amostral. Somente o Potássio apresentou comportamento que não permite afirmações concretas. É visível a diferença de resposta das culturas à fertilidade do solo, sendo a soja menos sensível que o milho. Os fatores Magnésio, Soma de Bases e CTC influenciaram de forma oposta a produtividade do milho e da soja, sendo o milho sensível à sua elevação. Os fatores Fósforo, pH, Cálcio e Saturação por Bases influenciaram positivamente as culturas e o fator H+Al influenciou de forma negativa.

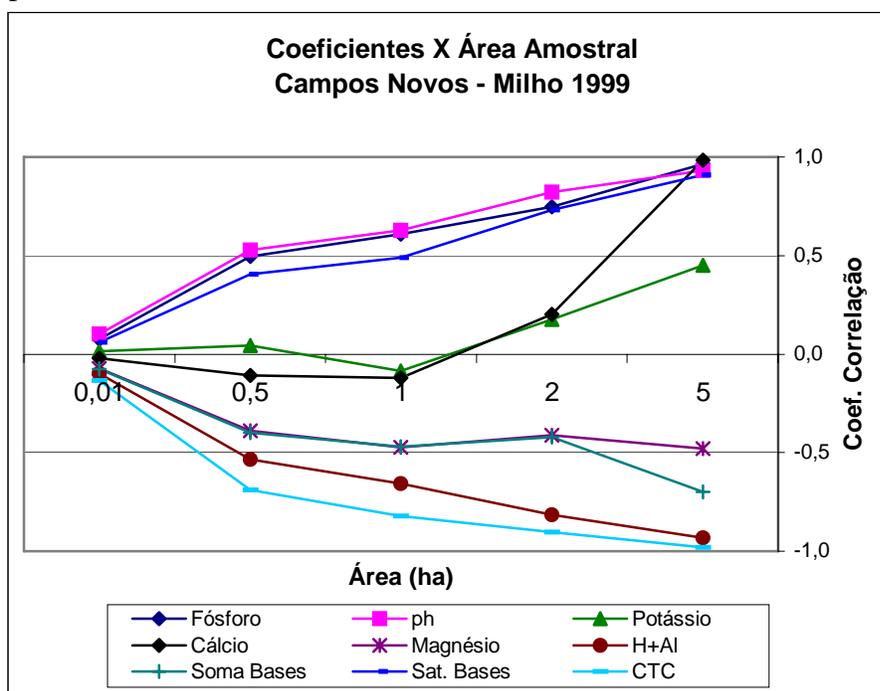
Nos gráficos 1 a 4 podem ser vistos os resultados obtidos de forma mais clara.



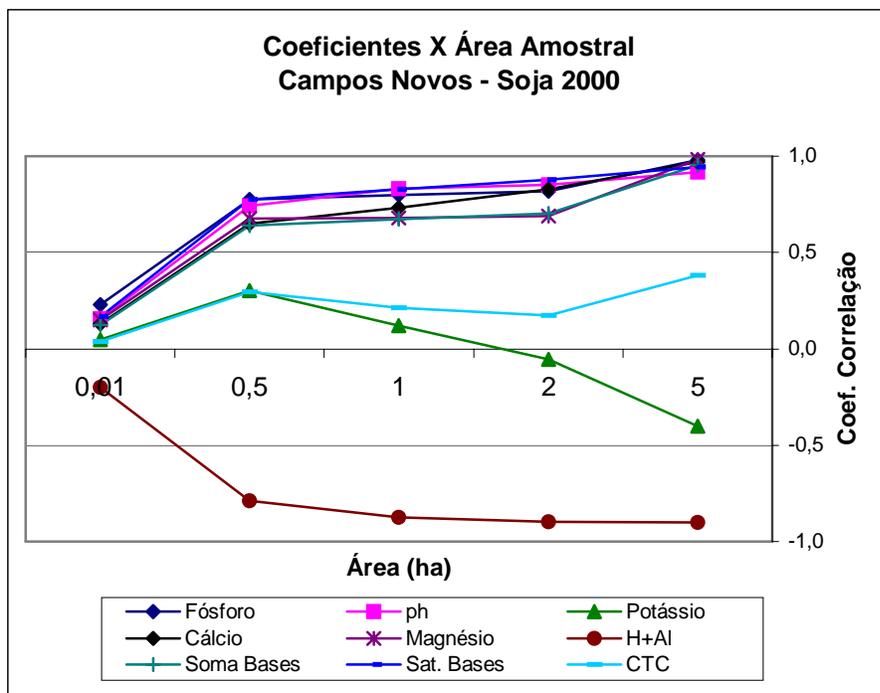
**Gráfico1** – Variação do coeficiente de correlação como aumento da área amostral para a cultura da soja na área de Castro.



**Gráfico 2** – Variação do coeficiente de correlação como aumento da área amostral para a cultura do milho na área de Castro.



**Gráfico 3** – Variação do coeficiente de correlação como aumento da área amostral para a cultura do milho na área de Campos Novos.



**Gráfico 4** – Variação do coeficiente de correlação como aumento da área amostral para a cultura da soja na área de Campos Novos.

## CONCLUSÃO

Devido à sensível variação nos coeficientes obtidos, a realização de correlações entre fatores da fertilidade química do solo e produtividade das culturas deve ser sempre acompanhada de uma criteriosa descrição da metodologia utilizada.

Embora tenham ocorrido variações nos coeficientes obtidos, é possível na maioria das vezes caracterizar quais os fatores estão interferindo na produtividade de modo positivo ou negativo.

A elevação da área amostral permite a obtenção de correlações melhores uma vez que se reduz a dispersão dos dados. Perde-se, entretanto a sensibilidade para a realização de regressões uma vez que os valores extremos de produtividade e fertilidade são amenizados.

Para alguns nutrientes como o potássio, as correlações são pouco significativas quando se realiza a amostragem algum tempo após a colheita devido ao caráter bastante móvel do nutriente no solo.

A metodologia provou-se útil na identificação da interferência causada pelos fatores da fertilidade química do solo podendo ser testada para outros fatores.

Mais importante que as correlações diretas entre fatores isolados e a produtividade devem ser aquelas realizadas entre os vários fatores e a produtividade. Os resultados obtidos permitem realizar de modo mais

seguro correlações entre um conjunto de fatores que possam estar condicionando outro.

A realização de correlações por si só não resolve as dúvidas sobre quais são os fatores que devem ou não ser manejados servindo somente como uma ferramenta suplementar à análise de dados e que deve ser utilizada por pesquisadores ligados à área considerada.