

UM SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO RODOVIÁRIA

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN ROAD CONSTRUCTION

Gomes Correia, António, *Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, agc@civil.umiho.pt*
Marques, Alfredo, Norace – Construtoras das Auto-estradas do Norte, ACE,
amarques@norace.pt

Benatia, Younes, Aluno da “Ecole Nationale des Ponts et Chaussées”, France,
cec@civil.uminho.pt

Schmidt, Robert, Aluno da “Technical University of Dresden”, Germany, cec@civil.uminho.pt

RESUMO

A presente comunicação apresenta e analisa os dados obtidos durante a fase de construção de uma Auto-Estrada em conformidade com um sistema de controlo de qualidade implementado de acordo com a ISO 9001:2000. Os dados experimentais resultam do controlo de compactação das diferentes camadas: aterro, leito do pavimento, sub-base. Estes dados são objecto de uma análise estatística com fins múltiplos, a saber:

1. conhecer as dispersão dos resultados por camada, com verificação da lei de distribuição normal e da probabilidade de ocorrência dos valores dentro da gama requerida no controlo de qualidade;
2. utilização do teste t-Student com o fim de testar a validade do controlo do Gestor da obra face ao controlo do Construtor.

A análise estatística feita permite dispor de dados estatísticos que asseguram uma maior segurança na validação dos resultados dos ensaios do controlo de compactação e conhecer mais rigorosamente a qualidade global do trabalho realizado.

ABSTRACT

This paper presents and analyzes data collected during a motorway construction in conformity with a quality control system developed according to the ISO 9001:2000 Standard. These data were obtained from results of “in situ” tests carried out during the compaction control of the different layers: embankment, capping layer and sub-base. Statistical analysis of these data is done with multiple purposes:

1. To know the scattering of control parameters in each layer, verifying at the same time the normal distribution law and the probability of occurrence of values outside the required specification;
2. Use of the t-Student test in order to evaluate the validity of the control made by the Enterprise Manager in relation to the constructor's.

This statistical analysis gives information that ensures a safer validation of control compaction results and a more accurate way to evaluate the global quality of the works.

1. INTRODUÇÃO. ABORDAGEM A UM SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE

A introdução dos Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ) nas actividades construtivas leva a que os empreiteiros encarem a obra como uma actividade global, onde a procura da melhoria das actividades é uma das vertentes mais fortes. Com efeito, não basta apenas que a obra esteja

correcta do ponto de vista dos Cadernos de Encargos e do Projecto mas tem de haver uma procura sistemática da melhoria dos métodos que leve a uma economia de recursos para que todas as partes interessadas (Donos de Obra e Empreiteiros) retirem mais-valias das suas actividades.

Os Sistemas da Qualidade preconizados pelas Normas NP EN ISO 9000:2000 [1] são muito claros a este respeito: há que garantir o respeito pelas especificações contratuais (satisfação dos clientes) ao mesmo tempo que as empresas recolhem informações valiosas para promover a melhoria contínua das suas actividades.

Um dos pontos fulcrais dos Sistemas de Gestão da Qualidade, de acordo com a Norma NP EN ISO 9001:2000 [2], é o que respeita à “Medição, Análise e Melhoria”. Dentro desta cláusula normativa encontra-se uma referência explícita à “Análise de Dados” e às “Acções de Melhoria”. Põem-se, nesta altura, as questões: que análise de dados? Como tratar a informação recolhida durante as obras para detectar oportunidades de melhoria?

A análise dos resultados obtidos durante a construção é, normalmente, feita de uma forma pontual, isto é, os resultados são analisados individualmente, perdendo-se de alguma maneira a visão global que permite inferir se um determinado processo construtivo está a ser realizado nas condições óptimas do ponto de vista técnico e económico. Por outro lado, esta análise feita individualmente não vai permitir a detecção de derivas ou situações que apresentem algum risco, dificultando assim a intervenção atempada com vista à resolução de tais situações e evitando também o aparecimento de não-conformidades resultantes de um processo não controlado.

É aqui que as Técnicas Estatísticas têm uma acção fundamental: por um lado permitem que haja uma visão global de todo o processo construtivo e, por outro, são uma ferramenta valiosa na detecção de tendências ou desvios que poderão, se não tratadas atempadamente, acarretar situações de não-conformidade, com as consequentes implicações nos custos da construção e na satisfação dos clientes.

Cada vez mais as empresas têm de apostar na prevenção dos problemas, cada vez mais há que fazer bem à primeira. Um Sistema de Gestão da Qualidade bem implementado fornece as pistas para que as empresas possam melhorar continuamente as suas actividades. Uma análise cuidada da informação recolhida é fundamental para que essa melhoria possa ser uma mais-valia para a empresa.

Analisa-se em seguida algumas técnicas que, utilizando conceitos estatísticos simples [3, 4], como sejam, a avaliação da capacidade de um processo (índices C_p e C_{pk}) e teste t-Student, permitem avaliar de forma quantitativa a qualidade dos processos e recolher informação para a sua melhoria.

2. UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS NA ANÁLISE DE DADOS RECOLHIDOS DURANTE A CONSTRUÇÃO

2.1 Introdução

Para além dos resultados pontuais obtidos nos ensaios realizados durante a construção rodoviária, poderá ser interessante avaliar a qualidade da construção na sua globalidade de forma a obterem-se informações sobre os processos construtivos e poderem ser lançadas acções que visem a melhoria da eficácia desses processos.

Uma das formas de fazer essa avaliação global dos resultados é, como já foi referido, o recurso a técnicas estatísticas simples e expeditas e que possam demonstrar o cumprimento das especificações na globalidade da obra a partir da análise dos resultados obtidos quer “*in situ*” quer em laboratório.

As técnicas apresentadas em seguida baseiam-se no pressuposto de que todos os processos construtivos seguem uma distribuição normal, o que terá de ser verificado *a priori*. Esta verificação poderá ser feita pela “Recta de Henry” ou pelo “Teste de Kolmogorov-Smirnov”.

2.2 Índices de Capacidade dos Processos (C_p e C_{pk})

Diz-se que um determinado processo é “capaz” quando a distribuição normal que lhe está associada se situa entre o Limite Inferior e o Limite Superior da Especificação (LIE, LSE). Quanto mais alta for a capacidade de um processo menor será a probabilidade da ocorrência de defeitos (incumprimento das especificações) – Figura 1.

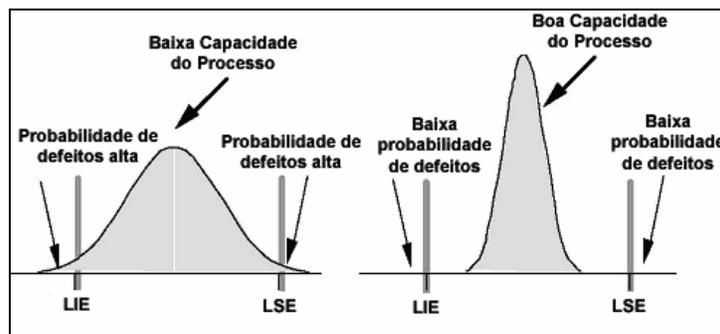


Figura 1 – Interpretação Gráfica da Capacidade dos Processos

A maneira mais prática para se avaliar a capacidade de um processo é através da utilização dos chamados “Índices de Capacidade do Processo” (C_p e C_{pk}).

Estes índices comparam a dispersão da distribuição normal associada ao processo (definida pela média μ e pelo desvio-padrão σ dos resultados dos ensaios) com a tolerância definida para esse processo.

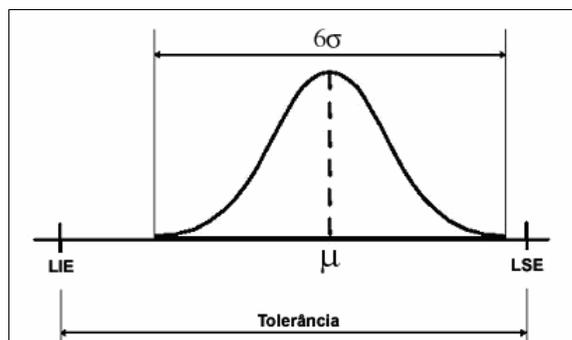


Figura 2 – Dispersão do processo

O primeiro índice a ser calculado é o C_p , o qual é definido como o quociente entre o intervalo de tolerância e a dispersão da distribuição normal associada ao processo:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (1)$$

A análise da Figura 2 conjuntamente com a equação (1) permite concluir que se o valor de C_p é igual ou superior a 1 então o processo é capaz de cumprir com as especificações. Note-se que um $C_p=1$ corresponde à situação limite de capacidade (a dispersão tem a mesma amplitude que o intervalo de tolerância). Esta situação deverá ser evitada uma vez que qualquer pequena alteração nas condições do processo poderá levar ao aparecimento de não-conformidades. Por razões de segurança é comum considerar-se um processo capaz se o valor de C_p for igual ou superior a 1.3. No entanto este valor é apenas uma sugestão.

O facto de o valor de C_p indicar que o processo é capaz não significa, contudo, que o processo cumpra na realidade as especificações impostas. O C_p apenas compara amplitudes, não fornecendo indicações sobre a localização da distribuição relativamente ao intervalo de especificação. Para este efeito terá de ser avaliado outro índice – C_{pk} . Este índice compara cada um dos limites da distribuição associada ao processo com os limites da tolerância do processo. Deste modo, deverá ser avaliado o C_{pk} relativo ao limite inferior da tolerância (C_{pki}) e o relativo ao limite superior da tolerância (C_{pks}). Estes índices parciais são definidos como:

$$C_{pki} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (2)$$

$$C_{pks} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (3)$$

O valor de C_{pk} será o menor dos resultados entre (2) e (3) e deverá ser igual ou superior a 1.3 (tal como o C_p).

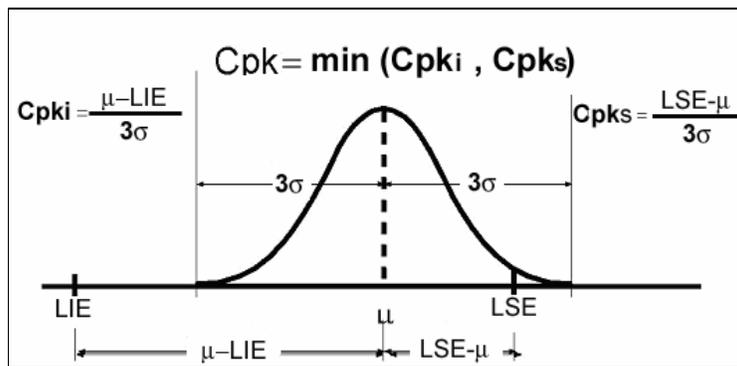


Figura 3 – Interpretação gráfica do C_{pk}

Em conclusão, pode afirmar-se que um processo cumpre com as especificações que lhe são impostas quando os valores de C_p e de C_{pk} são simultaneamente iguais ou superiores a 1.3. **Só nesta situação se pode dizer que o processo está controlado.**

Tudo o que foi referido anteriormente partiu do pressuposto que o processo estava definido por um intervalo de tolerância, $LSE - LIE$. No entanto é muito comum a existência de processos definidos unilateralmente, como é o caso dos processos de compactação.

No caso deste tipo de processos não é possível avaliar o valor de C_p . No entanto, é possível demonstrar que, em qualquer situação, o valor de C_{pk} é sempre maior ou igual ao valor de C_p . Deste modo, para um processo definido unilateralmente, basta calcular o valor do C_{pk} relativo ao limite da especificação (C_{pki} para processos definidos inferiormente e C_{pks} para processos definidos superiormente). Neste caso, o processo considera-se controlado desde que o valor do C_{pk} relativo ao limite considerado seja igual ou superior a 1.3.

Deste modo, o conceito de capacidade dos processos é alargado a qualquer tipo de processo existente.

2.3 Intercomparação laboratorial. O teste t-Student.

Nas situações em que a obra é acompanhada por uma entidade externa é frequente que essa entidade realize ensaios em paralelo com o construtor. Os resultados destes ensaios validam os

resultados obtidos pelo laboratório do construtor e funcionam, de certo modo, como garantes da qualidade final da obra.

Os resultados obtidos por ambas as partes raramente são coincidentes, pelo que só recorrendo a análises estatísticas se poderão comparar. Para o efeito pode-se recorrer aos Testes de Hipóteses.

Neste tipo de testes formula-se uma condição que deverá ser verificada (a chamada Hipótese Nula) e analisa-se a sua validade através de um teste adequado. No caso da comparação de resultados entre laboratórios a hipótese nula (H_0) é a não existência de diferença entre as duas populações (resultados de cada laboratório) a nível de média.

Em termos práticos isto significa avaliar se as amostras dos resultados obtidos nos dois laboratórios se referem à mesma população

Nesta análise considera-se que as variâncias são iguais uma vez que os resultados dos ensaios de compactação são afectados igualmente pelas condições de execução.

A verificação de da validade de H_0 é feita através do teste t-Student. Este calcula um parâmetro T que é função das médias e dos desvios-padrão das duas populações:

$$T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (5)$$

em que:

$$\sigma = \sqrt{\frac{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (6)$$

e n é o número de elementos de cada amostra.

Calculado o valor de T, este é comparado com um valor tabelado (t_{crit}), função do número de graus de liberdade ($\nu = n_1 + n_2 - 2$) e do nível de confiança definido para o teste (normalmente 95%).

A hipótese H_0 é aceite desde que:

$$- t_{crit} \leq T \leq t_{crit} \quad (7)$$

3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PROCESSO DE COMPACTAÇÃO.

3.1 Introdução

Apresenta-se em seguida a aplicação das técnicas atrás estabelecidas no controlo do processo de compactação dos trabalhos numa zona de aterro e escavação (zona mista) de uma auto-estrada.

São apresentados os resultados relativos à parte inferior do aterro, corpo do aterro, parte superior do aterro, leito do pavimento e camada de sub-base. No entanto a sequência completa dos cálculos será feita apenas para a camada de sub-base, que se apresenta de seguida. Foi considerada uma amostra de 804 elementos.

3.2 Verificação da Normalidade

A verificação de que os dados obtidos se enquadram numa distribuição normal é feita através da Recta de Henry. A Fig. 4 ilustra estes resultados para o caso dos graus de compactação em relação ao Proctor modificado para a camada de sub-base.

:

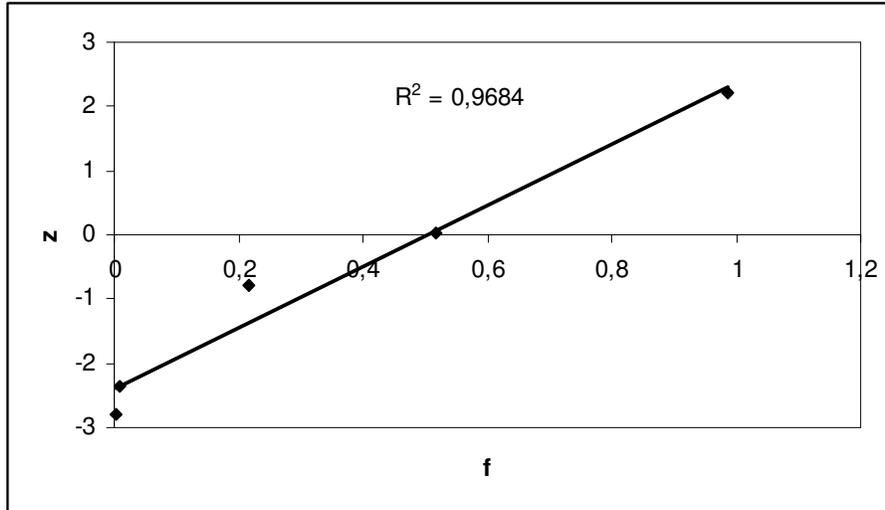


Figura 4 – Recta de Henry da distribuição das frequências dos graus de compactação na camada de sub-base

O valor obtido para o coeficiente de correlação é 0,9684 indicando que se está perante uma população que se pode considerar normal.

3.2 Cálculo de C_{pk}

Como foi atrás referido, as especificações do controlo de compactação são feitas unilateralmente ($G_c \geq 95\%$), apenas se podendo calcular o valor de C_{pk} do processo. Do controlo da camada de sub-base obtiveram-se os seguintes valores:

$$\bar{x} = 98,92 \quad c = 0,90$$

os quais aplicados à equação (2) conduzem a um C_{pk} de:

$$C_{pk} = \frac{98,92 - 95}{3 * 0,90} = 1,45$$

Este valor, superior a 1,3, indica que o processo de compactação está controlado e que, consequentemente, não há valores do grau de compactação abaixo dos especificados.

Pode, assim, afirmar-se que se se mantiverem todas as condições de execução deste processo, o número de ensaios a realizar poderá ser reduzido. Contudo, caso haja alguma alteração das condições de execução o processo deverá ser novamente avaliado e o C_{pk} recalculado.

3.3 Aplicação às camadas de aterro e de leito do pavimento

O Quadro 1 resume os valores obtidos na avaliação das diferentes camadas da zona em estudo (Parte inferior do aterro – P.I.A.; Corpo do Aterro; Parte superior do aterro – P.S.A.; Leito do pavimento – L. Pav.):

Quadro 1 – Resumo dos resultados obtidos

Camada	n	\bar{x}	c	x min	C _{pk}	% < 95%
P.I.A.	290	98,03	1,33	94,04	0,76	0,00
Corpo	340	97,84	1,36	93,94	0,70	0,00
P.S.A.	230	97,51	1,19	93,94	0,70	0,02
L. Pav.	420	98,25	1,26	94,47	0,86	0,00
Sub-base	804	98,92	0,90	96,22	1,45	0,00

É interessante observar que há uma melhoria dos valores de C_{pk} da camada do leito do pavimento em relação às camadas do aterro. Tal facto justifica-se devido aos solos utilizados na camada do leito do pavimento serem solos seleccionados e, portanto, menos heterogéneos que os materiais (solos e solo-enrocamento) reutilizados nas camadas de aterro. Uma melhoria ainda mais significativa do C_{pk} é observada na camada de sub-base em virtude de esta ser constituída por um material fabricado e portanto com características de produção bem definidas.

Anote-se que um estudo de sensibilidade do valor de C_{pk} em relação à probabilidade de ocorrência de valores fora dos especificados mostrou que quando este é superior a 0,6 garantem-se 95% dos valores cumprindo a especificação e 5% nunca inferiores a 90% do grau de compactação. Estes limites são considerados aceitáveis em muitos processos de controlo da qualidade.

3.4 Intercomparação laboratorial

Para se verificar se os laboratórios do construtor e do Gestor de Empreendimento apresentam resultados coerentes, isto é, se os resultados obtidos pertencem à mesma população, analisaram-se duas amostras de resultados, uma de cada origem, com 102 elementos cada.

Os dados recolhidos foram tratados e obtendo-se os resultados constantes do Quadro 2:

Quadro 2 – Análise das amostras dos laboratórios

	\bar{x}	c ²
Gestor de empreendimento	98,046	2,05
Construtor	97,77	1,98

Estes resultados conduzem a um valor de T do teste t-Student, (5) e (6), de 1,41, o qual se encontra no intervalo $-t_{crit}, t_{crit}$, cujo valor é de 1,97 (7) considerando um número de graus de liberdade (ν) de 202 e um nível de confiança de 95%.

Assim conclui-se que para um nível de confiança de 95%, não há diferença significativa entre os resultados dos laboratórios. Em termos práticos, isto significa que o Gestor de Empreendimento pode ter confiança nos resultados emitidos pelo construtor e que poderá eventualmente diminuir a percentagem relativa dos seus ensaios de verificação.

4. CONCLUSÕES

O trabalho apresentado pretende mostrar a importância da utilização de determinadas ferramentas estatísticas no processo do controlo da qualidade da construção rodoviária.

Neste contexto, e para a avaliação particular do controlo da compactação, revelam-se importantes a utilização dos índices de capacidades dos processos (C_p e C_{pk}) para se poder quantificar em que medida as especificações foram cumpridas. Além disso, a validação do procedimento “do controlo do controlo”, quando uma entidade exterior controla o controlo do construtor, requer o recurso ao teste t-Student.

Estas ferramentas foram aplicadas a um caso de estudo, envolvendo 1) o controlo da compactação de camadas de aterro, leito de pavimento e sub-base; 2) intercomparação laboratorial dos resultados do construtor e do Gestor do Empreendimento.

O caso de estudo revelou que no controlo da compactação de solos naturais havia estatisticamente a possibilidade de ocorrência (< 5%) de alguns pontos fora do valor mínimo especificado, enquanto que para os materiais fabricados de sub-base (agregado de granulometria extensa) nunca havia essa possibilidade ($C_{pk} > 1.3$).

5. REFERÊNCIAS

- [1] Norma NP EN ISO 9000:2000 – Sistemas de gestão da qualidade. Fundamentos e vocabulário.
- [2] Norma NP EN ISO 9001:2000 – Sistemas de gestão da qualidade. Requisitos.
- [3] Juran, Joseph; Godfrey, A., 1998 – Juran’s Quality Handbook (5ª edição), McGraw Hill.
- [4] Grant, Eugene; Leavenworth, Richard, 1996 – Statistical Quality Control (7ª edição) McGraw Hill.