

# A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA GESTÃO DE PAVIMENTOS DA REDE ASCENDI

Adriana Santos<sup>1</sup>, Carla Silva<sup>2</sup>, Álvaro Soares<sup>3</sup>, Eliana Carreira<sup>4</sup>, Elisabete Freitas<sup>5</sup> e Joel Oliveira<sup>6</sup>

<sup>1</sup> [asantos@ascendi.pt](mailto:asantos@ascendi.pt); <sup>2</sup> [csilva@ascendi.pt](mailto:csilva@ascendi.pt); <sup>3</sup> [asoares@ascendi.pt](mailto:asoares@ascendi.pt); <sup>4</sup> [ecarreira@ascendi.pt](mailto:ecarreira@ascendi.pt)

Ascendi IGI, S.A. Praça de Mouzinho de Albuquerque 197, Porto, Portugal.

<sup>5</sup> [efreitas@civil.uminho.pt](mailto:efreitas@civil.uminho.pt); <sup>6</sup> [joliveira@civil.uminho.pt](mailto:joliveira@civil.uminho.pt)

Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Azurém, Guimarães.

---

## Sumário

*A transformação digital tem vindo a tomar cada vez mais uma dimensão significativa nas Organizações, para obter ganhos de eficácia e eficiência. A Ascendi para objetivar essa transformação desenvolveu, em conjunto com as Universidades do Minho e Lisboa, uma plataforma designada por SustIMS para a gestão integrada dos principais ativos da infraestrutura, que permitiu obter uma avaliação das condições gerais do pavimento a vários níveis e a cada momento e indicar as secções degradadas, visando suportar as necessidades atuais e futuras dos projetos de manutenção e conservação, ao nível nacional e europeu por ser uma plataforma aberta e flexível.*

**Palavras-chave:** Gestão de Pavimentos; PCQ; SustIMS; Ação COST 354; Indicadores de desempenho.

## 1 INTRODUÇÃO

Um sistema de gestão é essencialmente um sistema de informação, cuja base nuclear assenta na base de dados [1], pelo que, é essencial adotar uma cultura empresarial que reconheça que o tratamento deste volume de informação é um fator chave que se traduz na eficiência e eficácia da organização.

Este volume de dados e a sua diversidade obriga a análises estatísticas avançadas, pelo que, com o surgimento de novas tecnologias importa proceder à automação dos processos, de modo a permitir elaborar cenários de evolução da rede face a determinados estados observados, bem como, permitir e estabelecer determinados critérios e estratégias de conservação [2].

Esta evolução, ao nível de detalhe e precisão das análises, no tratamento dos dados, bem como nas técnicas analíticas aplicadas, tais como, o tratamento estatístico, a otimização, a análise multiobjectivo – baseada no conhecimento e em técnicas mais especializadas – foi considerável, a partir de 1980, com o aumento da dimensão da indústria tecnológica e o poder dos computadores [3].

No caso do sistema de gestão de pavimentos (SGP), este pode ser caracterizado por um conjunto de componentes ou subsistemas, direcionados para gerir diferentes níveis ou necessidades e com o fim de otimizar custos, seja no sector público e/ou privado, de modo a garantir sempre a segurança e conforto dos utentes [4][5]. Ao longo do tempo, foram sendo desenvolvidos diversos SGP, quer no sector público, quer no sector privado, sendo que, alguns deles, foram pensados exclusivamente para as entidades que superintendem a rede viária [6].

Neste contexto, na Ascendi e ao nível do Sistema de Gestão de Pavimentos (SustIMS\_PAV), esta transformação teve como principal objetivo, passar pela transferência da obtenção da informação em formato analógico para o formato digital com base em novos processos, meios e/ou ferramentas, quer ao nível da recolha de dados – que passou a ser realizada com recurso a uma plataforma móvel (*tablet*) no caso das inspeções visuais –, quer ao nível da avaliação da conformidade dos parâmetros estabelecidos no Plano de Controlo da Qualidade (PCQ) [7], dado que passou a ser realizada de forma digital e integrada. A metodologia adotada teve por base o estabelecido no

PCQ de cada Concessão, pelo que, foi realizada a inventariação dos Sublanços, quer por sentido, via, nós e ramos e seccionados por cada 100 m, bem como, conjugados pelas características da autoestrada: Planta, Perfil, Zona (Escavação/Aterro/Viaduto) e Trecho, de forma a dotar o gestor da rede de um sistema de avaliação a vários níveis aberto e flexível.

De igual modo, foi desenvolvido um sistema de avaliação de desempenho que teve por base a Ação COST 354 – Indicadores de Desempenho para Pavimentos de Estradas – [8] cujo principal objetivo foi definir Indicadores de Desempenho Europeus uniformes para pavimentos de estradas, tendo em consideração as necessidades dos utilizadores e dos seus operadores. Para isso foram considerados os seguintes indicadores de desempenho (Performance Indicators\_PI's): Regularidade longitudinal, Regularidade transversal, Macrotextura, Atrito, Capacidade de Carga, Fendilhamento e Defeitos de Superfície. No entanto, os dois últimos, abrangem uma variedade de patologias individuais, pelo que, foram avaliados com base nos “indicadores de desempenho pré-combinados” atribuindo-lhe diferentes pesos.

Assim, consoante a importância da estrada ou a disponibilidade dos gestores da rede, podem ser estabelecidos três níveis de avaliação, nomeadamente, mínimo, regular e ótimo para o cálculo dos indicadores combinados (Combined Performance Indicators\_CPI's). Além disso, a combinação dos indicadores individuais e/ou combinados, descrevem também as condições do pavimento relativamente a vários aspetos, como a segurança, a estrutura e o conforto de condução, fornecendo igualmente o Indicador Global (Global Performance Indicator\_GPI).

Finalmente, no âmbito do projeto desenvolvido com as Universidades do Minho e Lisboa foram desenvolvidos os modelos de previsão de degradação do pavimento, passando a estar todo o processo integrado na plataforma SustIMS, e interligado com o Sistema de Informação Geográfica (SIG).

## 2 AVALIAÇÃO DO ESTADO DO PAVIMENTO

A observação dos pavimentos tem como finalidade recolher informação de uma forma periódica, com o objetivo de determinar o seu estado superficial e estrutural, permitindo assim uma gestão eficaz da rede rodoviária.

A avaliação funcional dos pavimentos tal como o seu nome indica permite avaliar as características funcionais da camada de desgaste, em particular a regularidade geométrica, o coeficiente de atrito pneu/pavimento e a drenabilidade superficial (caracterizada pela textura). A avaliação estrutural reflete o nível de desempenho mecânico do pavimento, com base no tráfego que nele circula e sob as ações climáticas às quais este está submetido, entre outras [9].

### 2.1 Avaliação funcional

Inicialmente, no que respeita às degradações dos pavimentos, a metodologia de monitorização utilizada era a observação visual com registo em suporte de papel, sendo que, no âmbito da transformação digital, esta inspeção visual passou a ser efetuada com equipamento informático. A metodologia baseia-se no registo fotográfico e/ou vídeo através de um tablet onde se encontra pré-definida a lista do tipo e nível da patologia, e outra informação essencial, como a designação da autoestrada, o sublanço, e o PK inicial e final referente à patologia. Após a conclusão da inspeção, é possível obter um relatório final, que inclui as áreas de pavimento afetado. Atualmente, outros equipamentos com recurso ao registo em vídeo, têm vindo a ser estudados e desenvolvidos, nomeadamente, a Vaisala RoadAI com recurso à Inteligência Artificial.

No que concerne à avaliação da textura, o Plano de Controlo da Qualidade (PCQ), estabelece que o pêndulo, o *SCRIM* e o *Grip Tester*, bem como, a mancha de areia e os perfilómetros (medição a laser), são equipamentos que permitem avaliar a micro e macrotextura, respetivamente. De igual modo, estabelece que a irregularidade longitudinal e transversal deve ser realizada em contínuo com equipamento laser geralmente com multifunções/perfilómetros. Em alternativa, pontualmente a irregularidade transversal pode ser avaliada com recurso à régua de 3m.

No que concerne à avaliação da micro e macro textura, da irregularidade longitudinal e transversal, o Plano de Controlo da Qualidade (PCQ), estabelece que esta avaliação deve ser realizada para intervalos de 100 m em todas as vias, sendo que, todos os equipamentos de medição utilizam diferentes técnicas, normas e consequentemente diversas unidades de medida.

## 2.2 Avaliação estrutural

A avaliação estrutural está associada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculado diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento. Esta avaliação pode ser realizada através de processos destrutivos e/ou por processos não destrutivos.

A escolha de processos não destrutivos deverá ser privilegiada, de modo a não danificar o pavimento, sendo que, na rede Ascendi, o equipamento utilizado para avaliar a capacidade estrutural de um pavimento são os de defletómetros de impacto (*Falling Weight Defectometer* – FWD). Esta avaliação resulta da medição de resposta por queda de uma massa suspensa a certa altura, sobre um conjunto de amortecedores que comunicam o choque a uma placa metálica apoiada sobre o pavimento no ponto de leitura da deflexão máxima.

Porém, para uma melhor avaliação dos resultados obtidos poderá ser necessário proceder à recolha de algumas amostras (carotes) em alguns pontos selecionados (poucos) como representativos de cada segmento a ser avaliado.

## 3 METODOLOGIA

O processo de transformação digital requer um forte comprometimento na sua implementação, desde a Administração, Direção e Serviços, já que este pressupõe uma mudança de mentalidade na cultura empresarial. Consequentemente e previamente ao início do processo, foi necessário analisar e definir as diferentes etapas e procedimentos dentro da organização, de forma a integrar as novas tecnologias e garantir o sucesso desta grande transformação.

Assim, foi necessário planificar o seu desenvolvimento em termos logísticos e financeiros, nomeadamente no que respeita a: o quê, quem, quando e como fazer. Para responder a estas perguntas, foi essencial proceder a um diagnóstico, ou seja, a uma análise prévia dos dados da organização, investigar as tendências e as possibilidades a curto prazo, bem como, na estratégia a médio e longo prazo, para identificar e definir as fases que esta transformação digital deveria responder.

Inicialmente, a gestão de pavimentos era realizada de forma bastante simples possuindo apenas uma base de dados recorrendo à programação em Access ou eram utilizadas folhas de Excel. Com o desenvolvimento do Sistema de Gestão de Pavimentos (SustIMS\_PAV), a transformação foi pensada e estruturada para se processar em várias fases. A primeira fase, passou pela transferência da obtenção da informação em formato analógico para o formato digital com base em novos processos, meios e/ou ferramentas, quer ao nível da recolha de dados – que passou a ser realizada com recurso a uma plataforma móvel no caso das inspeções visuais –, quer ao nível da avaliação da conformidade dos parâmetros estabelecidos no Plano de Controlo da Qualidade (PCQ), dado que passou a ser realizada de forma digital e integrada. Na segunda fase procedeu-se ao cálculo dos Indicadores de desempenho, combinados e global com base no estabelecido na Ação COST 354, sendo que, finalmente, no âmbito do projeto desenvolvido com as Universidades do Minho e Lisboa foram desenvolvidos os modelos de previsão de degradação do pavimento, passando a estar todo o processo integrado na plataforma SustIMS, e interligado com o Sistema de Informação Geográfica (SIG). A seguir descreve-se as principais etapas do processo de digitalização.

### 3.1 Sistema de Referenciação da Rede

Tendo em conta os diversos componentes e características que uma autoestrada apresenta, o Sistema de Gestão de Pavimentos foi parametrizado, tendo por base diversos níveis como, as características da rede, a estrutura do pavimento e os diferentes níveis de gestão sobre os quais recairá a análise.

#### a) Características da rede

No que concerne às características da rede, esta foi definida tendo por base o descrito no Quadro 1.

Quadro 1. Características que definem a autoestrada.

Características	Descrição
<i>Concessão</i>	Concessão a que se refere o Contrato de Projeto, Construção e Exploração.
<i>Autoestrada (AE)</i>	Autoestrada que integra a Concessão.
<i>Sublanço</i>	Sublanços que integram a Autoestrada da Concessão.
<i>Sentido</i>	Crescente: sentido de circulação dos veículos na via em relação à origem. Decrescente: sentido de circulação dos veículos na via em relação ao fim.
<i>PKi e PKf</i>	Ponto Quilométrico inicial (PKi) e Ponto Quilométrico final (PKf) de cada sublanço e calculado tendo por base o centro da Obra de Arte do Nó.
<i>Nó</i>	Nó de Interligação entre Sublanços e/ou Autoestradas.
<i>Ramos e Ligações</i>	Ramos Unidirecionais ou Bidirecionais que integram os Nós de Interligação entre Sublanços e/ou Autoestradas, bem como, as respetivas Ligações.
<i>Extensão</i>	Extensão do sublanço medido entre o Ponto Quilométrico inicial (PKi) e o Ponto Quilométrico final (PKf) de cada sublanço.

#### b) Estrutura do Pavimento

O dimensionamento do pavimento rodoviário tem como principal objetivo determinar os materiais e as espessuras das camadas, de modo a evitar que a ruína do pavimento ocorra antes do final do período de dimensionamento, pelo que, constitui uma das principais informações para a análise do seu desempenho. De um modo geral, a espessura das camadas, e consequentemente a espessura do pavimento, varia com a intensidade e classe de tráfego ou com a diminuição das qualidades geotécnicas da fundação [10]. Assim, foram catalogados os diferentes tipos de estrutura do pavimento que uma rede rodoviária pode apresentar, ou seja: i) Pavimento Rígido; ii) Pavimento Flexível e iii) Pavimento Semirrígido.

Em termos gerais, também são exigidas às misturas betuminosas características físicas e mecânicas, tais como: estabilidade, durabilidade, flexibilidade, resistência à fadiga, aderência, impermeabilidade e trabalhabilidade.

Considerando que certas características, tais como a textura, resistência à derrapagem e a permeabilidade, dependem, essencialmente, da constituição da camada de desgaste dos pavimentos, e sendo que, outras estão, em geral, mais relacionadas com o comportamento estrutural de todo o pavimento, como a regularidade longitudinal e transversal, procedeu-se ao carregamento das camadas que constituem a estrutura do pavimento de cada um dos sublanços, de modo a permitir uma análise completa de todos os parâmetros ao nível do PCQ

#### c) Níveis de Gestão

O tráfego é um dos fatores que influencia a degradação dos pavimentos, sendo que o seu efeito depende da velocidade de circulação, e que por sua vez depende do traçado no plano vertical, ou seja, do conjunto de trainéis e respetivos declives que compõem o perfil longitudinal da estrada, e do traçado horizontal, particularmente em curvas.

Nesse sentido, e porque do ponto de vista da segurança rodoviária, há elementos do traçado que necessitam de atenção especial, como é o caso de curvas ou trainéis com inclinações relativamente acentuadas, considerou-se relevante caracterizar a estrada em diferentes níveis e/ou categorias: vias, zonas em planta e em perfil, bem como, se se localizam em aterro, escavação ou obra de arte. De igual modo, considerou-se importante poder-se realizar uma análise que permita extrair as zonas de plena via das zonas de portagem física. No Quadro 2, apresentam-se os diferentes níveis de gestão considerados.

Quadro 2. Níveis de Gestão.

Nível	Descrição
Via	Faixa de rodagem destinada à circulação dos veículos. Estas pode ser categorizada em Via Esquerda (VE), Via Direita (VD), Via de Lentos (VL) e Via Coletora (VCL)
Planta	Características em planta da autoestrada. Esta pode ser caracterizada pelo Alinhamento Reto (R), Clotóide (A) e Curva Circular (C).
Perfil	Características do perfil longitudinal da autoestrada. Esta variável está categorizada em: Inclinação do trainel ( <i>i</i> ) em %; Curva de concordância côncava ( <i>Ccc</i> ) e Curva de concordância convexa ( <i>Ccc</i> ), sendo que, correspondem ao raio mínimo das concordâncias.
Zona	Na definição do perfil longitudinal da autoestrada surgem zonas que podem ser classificadas em: aterro, escavação ou obras de arte.
Trecho	Área do sublanço que se refere à plena via ou portagem. Nesta última as viaturas circulam com velocidade reduzida para efeitos de pagamento.

### 3.2 Avaliação da Qualidade dos Pavimentos (PCQ e Ação COST 354)

O PCQ estabelece quer para as inspeções visuais, quer para os parâmetros a auscultar, que a avaliação da conformidade terá que ser realizada por via, considerando secções com extensões de 100 m e para cada sublanço. As inspeções visuais aos pavimentos são realizadas com recurso a uma Plataforma Móvel, desenvolvida para tablets, funcionando offline e sincronizando com a plataforma de gestão (SustIMS\_PAV), permitindo ao utilizador a classificação e atribuição de níveis de degradação tendo por base o Catálogo de Degradações da EP [13], sendo que, cada família de patologias apresenta diferentes níveis de gravidade.

De igual modo, através da plataforma móvel é possível efetuar o registo fotográfico / vídeo, associado à patologia identificada. Concluída a inspeção visual (plena via / Nós de ligação) poderá ser extraído um relatório com a compilação de todas as patologias verificadas e respetivas áreas.

No que concerne aos parâmetros a auscultar, o PCQ estabeleceu que são: a) Regularidade Superficial que engloba o Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI) e o Cavado de Rodeira (RD); b) Resistência à derrapagem/deslizamento - microtextura (LFC); c) Textura Superficial – macrotextura (MPD) e d) Capacidade de carga (B).

No que respeita à avaliação da textura, foram definidos critérios de conformidade caso a camada de desgaste seja em betão betuminoso drenante, em betão betuminoso rugoso, ou em betão betuminoso tradicional, mistura betuminosa e/ou aberta que incorpore betume modificado com borracha reciclada de pneus.

Nesse sentido, foram definidos critérios de conformidade para os dados obtidos apresentando vários níveis de classificação: Bom, Médio e Mau, de modo a permitir que o gestor da rede proceda a uma análise criteriosa, para cada sublanço que integra a Concessão, e subsequentemente para os Grupos de Sublanços definidos no Contrato de Concessão, sendo que, o incumprimento destes parâmetros, determina a necessidade, ou não, de uma Grande Reparação de Pavimentos.

Como um sistema de gestão de pavimentos ao nível da rede deverá incorporar o cálculo dos indicadores de desempenho, no SustIMS\_PAV optou-se por utilizar os critérios estabelecidos pela Ação “COST 354”, conforme referido anteriormente, desenvolvendo-se assim um sistema aberto e flexível.

#### 3.2.1 Indicadores de desempenho

A Ação COST 354 definiu vários indicadores de desempenho individuais, que estão relacionados com cada uma das características técnicas do pavimento da estrada e que deriva de um “Parâmetro Técnico” (TP) obtido a partir de medições por um equipamento, como por exemplo: profundidade das rodeiras, valor do atrito, etc..

Cinco indicadores foram estudados para o desenvolvimento de indicadores de desempenho individuais, bem como as correspondentes funções de transferência. Alguns detalhes destes indicadores, incluindo parâmetros técnicos propostos, funções de transferência e intervalos de classificação, podem ser observados no Quadro 3.

Quadro 3. Indicadores de desempenho individuais [Adaptado do *COST Action 354*, 2008].

Indicador de Desempenho	Nome	Unid.	Função de Transferência (COST)	Intervalos				
				Muito Bom	→	Muito Mau		
Irregularidade Longitudinal	PI_E	mm/m	$PI_E = \text{Max}(0; \text{Min}(5; (-0,173*IRI^2 + 0,7142*IRI - 0,016)))$	0,00 – 1,10	1,10 – 1,90	1,90 – 2,60	2,60 – 3,20	3,20 – 3,70
Rodeiras	PI_R	mm	$PI_R = \text{Max}(0; \text{Min}(5; (-0,0015*RD^2 + 0,2291*RD)))$	0,00 – 4,50	4,50 – 9,30	9,30 – 14,50	14,50 – 20,1	20,10 – 26,4
Textura (Macrotext.)	PI_T	mm	$PI_T = \text{Max}(0; \text{Min}(5; (6,6 - 5,3*MPD)))$	1,40 – 1,20	1,20 – 0,90	0,90 – 0,70	0,70 – 0,40	0,40 – 0,20
Atrito (Microtext.)	PI_F	GN	$PI_F = \text{MAX}(0; \text{MIN}(5; (-13,875*LFC + 9,338)))$	0,60 – 0,55	0,55 – 0,45	0,45 – 0,35	0,35 – 0,25	0,25 – 0,20
Capacidade de Carga (bases fracas)	PI_B	µm	$PI_B = \text{Max}(0; \text{Min}(5; (SCI_{300}/129)))$	0 – 129	129 – 258	258 – 387	387 – 516	516 – 645
Capacidade de Carga (bases fortes)	PI_B	µm	$PI_B = \text{Max}(0; \text{Min}(5; (SCI_{300}/253)))$	0 – 253	253 – 506	506 – 759	759 – 1012	1012 – 1265

O indicador PI\_B é determinado com base no *Structural Condition Index* ( $SCI_{300}$ ).

Todas as funções de transferência desenvolvidas podem ser usadas para autoestradas e estradas principais, bem como, são apropriadas para todos os tipos de pavimento (flexível, rígido e semirrígido).

Uma vez que alguns dos intervalos definidos para estes indicadores de desempenho não se adequavam aos intervalos definidos no PCQ, foi necessário proceder ao desenvolvimento de outras funções de transferência, nomeadamente, para os parâmetros atrito e irregularidade longitudinal, sendo que, para os restantes parâmetros foram consideradas as funções de transferência apresentadas no quadro anterior.

### 3.2.2 Indicadores Pré-combinados - Fendilhamento (CR) e Defeitos de Superfície (SD)

Como as fendas e defeitos da superfície são divididos em subcategorias, a Ação COST 354 definiu “indicadores de desempenho pré-combinados” que conjugam as respetivas subcategorias num valor único para cada tipo.

Assim, considerando que a análise económica de um pavimento é globalmente estruturada numa área a intervir (m<sup>2</sup>), no SustIMS\_PAV, a opção pela expressão dos parâmetros técnicos fendilhamento (TPcr) e defeitos de superfície (TPsd), versaram sobre a expressão inerente à área. Nesse sentido, a fórmula aplicada para o caso do fendilhamento, é a expressa na Equação 1.

$$TP_{CR,A} = \text{Min} \left[ 100; \frac{1}{A_{ref}} * \sum_m [W_m * \sum_i (S_{cr,a,i} * A_i)] * 100 \right] \quad (1)$$

em que:

$TP_{CR,A}$  é a percentagem da área com fendilhamento (%);

$A_{ref}$  é a área de referência;

$W_m$  é o peso das áreas com fendilhamento;

$S_{cr,a,i}$  gravidade/severidade do tipo de fendilhamento i;

$A_i$  área com fendilhamento do tipo i.

Para o caso dos defeitos de superfície, a fórmula aplicada é a estabelecida na Equação 2.

$$TP_{SD,A} = \text{Min} \left[ 100; \frac{1}{A_{ref}} * \sum_m [W_m * \sum_i (S_{sd,a,i} * A_i)] * 100 \right] \quad (2)$$

em que:

$TP_{SD,A}$  é a percentagem da área com defeitos de superfície (%);

$A_{ref}$  é a área de referência;

$W_m$  é o peso das áreas com defeitos de superfície;

$S_{sd,a,i}$  gravidade/severidade do tipo de defeito de superfície i;

$A_i$  área com defeito de superfície do tipo i.

Consequentemente, tornou-se necessário definir e avaliar pesos para cada subcategoria de fendilhamento e de defeitos de superfície. Considerando o definido no estado da arte e a experiência obtida ao longo dos anos, no SustIMS\_PAV os pesos aplicados encontram-se inseridos no intervalo [0-1], sendo que, 0 corresponde ao nível de menor importância e 1 corresponde ao nível de maior importância.

A transformação destes parâmetros técnicos - fendilhamento (CR) e defeitos de superfície (SD) - em indicadores de desempenho passou pela aplicação das funções de transferência apresentadas no Quadro 4 e definidas na Ação COST.

Quadro 4. Indicadores de desempenho individuais para o Fendilhamento e Defeitos de Superfície [Adaptado do COST Action 354, 2008].

Indicador de Desempenho	Nome	Unid.	Função de Transferência
Fendilhamento	PI_CR	%	$PI_{CR} = \text{Max}(0; \text{Min}(5; 0,16*CR))$
Defeitos de Superfície	PI_SD	%	$PI_{SD} = \text{Max}(0; \text{Min}(5; 0,1333*SD))$

### 3.2.3 Indicadores Combinados (CPI's) e Indicador Global (GPI)

De modo a combinar os diferentes indicadores de desempenho individuais para estabelecer o indicador combinado, a Ação COST 354 estabeleceu um método (que se baseia num critério de máximos avançado). Este método foi seleccionado de forma a assegurar que o resultado final do CPI seja fortemente influenciado pelo indicador individual (PI) com maior peso. Para a aplicação prática dos procedimentos de combinação, foram desenvolvidas duas alternativas, sendo que, a alternativa 1 considera o indicador de desempenho com maior peso e o valor médio dos restantes indicadores, influenciado por um fator  $p$ , e a alternativa 2 só considera o segundo indicador de desempenho individual com maior peso, influenciado por um fator  $p$ , não sendo considerados todos os restantes.

Uma vez que a alternativa 1 considera todos os valores de entradas relevantes, no SustIMS a fórmula considerada foi a Equação 3:

$$CPI_i = \min \left[ 5; I_1 + \frac{p}{100} * \overline{(I_2, I_3, I_4, \dots, I_n)} \right] \quad (3)$$

em que:

$I_1 \geq I_2 \geq I_3 \geq \dots \geq I_n$ ;

$I_1 = w_1 * PI_1, I_2 = w_2 * PI_2, \dots, I_n = w_n * PI_n$ ;

$CPI_i$  é o indicador combinado a determinar;

$PI_1, PI_2, \dots, PI_n$  são os indicadores de desempenho individuais a considerar;

$w_1, w_2, \dots, w_n$  são os respetivos “pesos relativos”, que tomam valores entre 0 e 1;

$p$  “fator de influência”, geralmente situado entre 10 e 20%.

De igual modo, consoante a importância da estrada ou a disponibilidade de informação, poderão ser estabelecidos três níveis de aplicação, nomeadamente, mínimo, regular e ótimo para o cálculo dos indicadores combinados. O Quadro 5 apresenta os indicadores de desempenho individuais recomendados e que foram aplicados no SustIMS\_PAV para o cálculo dos quatro indicadores de desempenho combinados, de acordo com o nível de aplicação desejado.

Quadro 5. Parâmetros de entrada para o cálculo dos indicadores de desempenho combinados [Adaptado do “COST” 354,2008].

Nível	Indicador (es)	
Mínimo	Conforto	PI_E
Médio		PI_E; PI_SD; PI_R
Ótimo		PI_E; PI_SD; PI_R; PI_T; PI_CR
Mínimo	Segurança	PI_F
Médio		PI_F; PI_R; PI_T
Ótimo		PI_F; PI_R; PI_T; PI_SD
Mínimo	Estrutural	PI_B
Médio		PI_B; PI_CR
Ótimo		PI_B; PI_CR; PI_R; PI_E
Mínimo	Ambiental	-
Médio		-
Ótimo		PI_E ou poluição do ar; PI_T ou poluição sonora; PI_SD
Onde:	PI_E ( <i>evenness</i> )	Irregularidade longitudinal
	PI_SD ( <i>surface defects</i> )	Defeitos de Superfície
	PI_R ( <i>rutting</i> )	Rodeiras (Irregularidade Transversal)
	PI_T ( <i>macro-texture</i> )	Macrotextura
	PI_CR ( <i>cracking</i> )	Fendilhamento
	PI_F ( <i>friction</i> )	Atrito
	PI_B ( <i>bearing capacity</i> )	Capacidade de carga

A atribuição dos pesos foi realizada com base nos pesos propostos (mínimo e máximo) apresentados na Ação COST 354 para o cálculo dos Indicadores de Segurança, Conforto e Estrutural.

De modo a combinar os diferentes indicadores de desempenho combinados (CPI's) para estabelecer o indicador global (GPI), e sendo este um parâmetro que fornece uma primeira avaliação das condições gerais do pavimento ao nível da rede e indica as secções degradadas, foi adotado novamente o critério de máximos avançados e a expressão que considera o indicador de desempenho com maior peso, o valor médio dos indicadores de desempenho combinados e o fator de influência  $p$  (Equação 4).

$$GPI = \min \left[ 5; I_1 + \frac{p}{100} * \overline{(I_2, I_3, I_4, \dots, I_n)} \right] \quad (4)$$

em que:

$I_1 \geq I_2 \geq I_3 \geq \dots \geq I_n$ ;

$I_1 = w_1 * CPI_1, I_2 = w_2 * CPI_2, \dots, I_n = w_n * CPI_n$ ;

$GPI_i$  é o indicador geral/global a determinar;

$CPI_1, CPI_2, \dots, CPI_n$  são os indicadores de desempenho combinados a considerar;

$w_1, w_2, \dots, w_n$  são os respetivos “pesos relativos”, que tomam valores entre 0 e 1;

$p$  “fator de influência”, geralmente situado entre 10 e 20%.

Os pesos relativos adequados a cada CPI que foram adotados, são os estabelecidos na Ação COST 354 para as autoestradas.

## 4 MODELOS DE PREVISÃO DA DEGRADAÇÃO DO PAVIMENTO

Os Sistemas de Gestão de Pavimentos visam apoiar os gestores da rede no processo de tomada de decisão quanto à sua política de gestão e estratégias de médio, longo prazo para as atividades de manutenção e conservação. Com base nos dados obtidos e analisados periodicamente é possível desenvolver modelos de previsão do comportamento dos pavimentos [1]. Embora existam vários modelos de previsão disponíveis na literatura, as aplicações práticas são muitas vezes limitadas à rede muito específica da qual os dados foram obtidos inicialmente e a um indicador de desempenho (PI) específico. Os métodos utilizados para desenvolver modelos de degradação do pavimento ou indicadores de desempenho são muitos, sendo que, neles se incluem, a regressão linear ou não linear e as séries temporais [11], métodos estocásticos como a cadeia de Markov e metodologia Bayesiana, e também mais recentemente tem vindo a aplicar-se as técnicas de inteligência artificial.

Os métodos estocásticos como a cadeia de Markov tem vindo a ser amplamente utilizados na previsão do estado do pavimento, devido a sua capacidade de integrar reabilitações e taxas de degradação do pavimento numa única matriz de transição de probabilidade [12]. Assim, no SustIMS\_PAV foram desenvolvidos e aplicados modelos de Markov para prever a evolução dos cinco indicadores de desempenho atrás referidos – fissuração, resistência à derrapagem, capacidade de carga, regularidade longitudinal e regularidade transversal – e consequentes PIs combinados, usando dados históricos de um extenso banco de dados de pavimentos. Estes modelos pretendem ser uma entrada útil para os gestores da rede e permitir desenvolver e testar diferentes abordagens de otimização.

## 5 CONCLUSÕES

O processo de substituir completamente formas manuais e tradicionais de aquisição, tratamento e análise de dados pelas mais recentes alternativas digitais permitem melhorar o desempenho e consequentemente obter uma maior eficácia e eficiência de todo um procedimento.

A transformação digital é um passo de um processo de mudança, que, começa pela apropriação da tecnologia, depois, pelo domínio dessa técnica e o surgimento de resultados positivos, finalizando com o aparecimento de novas oportunidades a partir dessa evolução

Inicialmente o processo de desenvolvimento Sistema de Gestão de Pavimentos teve por base o estabelecido no Plano de Controlo da Qualidade (PCQ) e posteriormente na Ação COST 354, estando na base do desenvolvimento de modelos de degradação, que foram integrados na plataforma SustIMS.

Atualmente, encontra-se em desenvolvimento a interligação da plataforma SustIMS com a plataforma Vaisala RoadAI para a recolha das degradações do pavimento e que aplica a Inteligência Artificial. Num futuro próximo, dever-se-á equacionar a passagem dos dados recolhidos através das auscultações ao pavimento, através de uma integração mais fácil e precisa.

A transformação digital, ao nível dos pavimentos, facilita a avaliação da sua condição a vários níveis e a cada momento, bem como, identifica as secções degradadas, de modo a poder fornecer uma orientação relativamente às necessidades atuais e futuras dos projetos de manutenção e conservação. De igual modo, também permite a interligação dos vários sistemas, nomeadamente, no Sistema de Informação Geográfica (SIG) contribuindo para a centralização da informação, com acesso expedito, podendo ser adotados, quer a nível nacional, quer a nível europeu, por ser uma plataforma aberta e flexível.

## **6 AGRADECIMENTOS**

Agradecemos o contributo e esforço de todos os colegas que estiveram envolvidos neste processo de transformação digital pelo seu profissionalismo, entusiasmo e dinamismo na concretização dos objetivos estabelecidos, permitindo à Ascendi um melhor desempenho na gestão integrada deste ativo da infraestrutura.

## **7 REFERÊNCIAS**

1. Branco F., Pereira P., Picado-Santos L., (2008). Pavimentos Rodoviários. Coimbra, Edições Almedina.
2. Pereira P. e Miranda V., (1999). Gestão da conservação dos pavimentos rodoviários, Barbosa & Xavier, Lda. Portugal M.
3. Markow Michael (1995), Highway management systems: State of the Art. Journal of Infrastructure Systems, september, pág. 187.
4. Haas R., Hudson W. and Zaniewski J. (1994), Modern Pavement Management, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida
5. Picado-Santos L., Ferreira A. e Pereira P., (2006). Estruturação de um Sistema de Gestão de Pavimentos para uma Rede Rodoviária de Carácter Nacional. Revista de Engenharia da Universidade do Minho n.º 26 de 2006.
6. Schattler K., Rietgraf A., Wolters A. and Zimmerman K. (2011), Implementing pavement management systems for local agencies – State of the arts/State of the practice, Federal Highway Administration FHWA, December 2011, pág. 5.
7. PCQ, (2014). Plano de Controlo da Qualidade da Ascendi. Portugal
8. COST Action 354 (2008), Performance Indicators for Road Pavements, Final Report.
9. Pereira P., Picado-Santos L., (2002). Pavimentos Rodoviários. Editado por Paulo Pereira e Luís Picado Santos. Braga, Portugal
10. Alves T., (2007). Metodologias de auscultação de pavimentos rodoviários – aplicação prática do radar de prospeção e do defletómetro de impacto, Lisboa, setembro de 2007.
11. Moreira A., Tinoco J., Oliveira J. R. M., and Santos A. (2016). An application of Markov chains to predict the evolution of performance indicators based on pavement historical data.
12. Ufuk Kırbas U. & Karaşahin M., (2016). Performance models for hot mix asphalt pavements in urban roads, Construction and Building Materials, Volume 116, Pages 281-288. Abaza K. and Ashur S. (1999), Optimum decision policy for management of pavement maintenance and rehabilitation. Transportation Research Record 1655, pág. 8.
13. EP- Estradas de Portugal, S.A. 2008. Catálogo de Degradações dos Pavimentos Rodoviários