

TRACÇÃO ELÉCTRICA E CORRENTES VAGABUNDAS

Manuel Bolotinha, MSc, Engenheiro Electrotécnico ⁱ

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente as *redes de metro convencional e de metro ligeiro*¹ são alimentadas em *corrente contínua* (habitualmente **750 V²**); o **positivo** é distribuído pela *linha de contacto (LCE³)* e o “retorno” (**negativo**) é feito pelos **carris**.

A utilização dos *carris* como *condutores* do **sistema de tracção eléctrica** dá origem à *circulação* de **correntes vagabundas** que *causam danos nas estruturas metálicas próximas*.

2. ORIGEM E EFEITOS DAS CORRENTES VAGABUNDAS

O *percurso* da **corrente eléctrica**, *alternada ou contínua*, é preferencialmente aquele que tem **menor resistência**.

Quando o *percurso natural* da *corrente* (neste caso os *carris*) tem **maior resistência**, parte da *corrente de retorno da tracção eléctrica* irá circular por **percursos alternativos** *não totalmente identificáveis*. São estas *correntes* que se designam por **correntes vagabundas**, **fenómeno muito mais gravoso** quando a *corrente* é *contínua*.

Assim, se a *resistência eléctrica dos carris* for **mais elevada** do que a *resistência eléctrica de outras estruturas vizinhas* a *corrente* **terá tendência a ser transportada nessas estruturas** originando **locais de corrosão** nos *carris* e, principalmente, nas *estruturas metálicas vizinhas*.

Os percursos das *correntes vagabundas* envolvem normalmente **estruturas metálicas subterrâneas**, tais como *armaduras de estruturas de betão armado e tubagens metálicas*.

Nas *redes de metro* as **estruturas de betão armado** são, habitualmente, os *viadutos e túneis*; já as **tubagens metálicas enterradas** que podem ser afectadas pelas *correntes vagabundas* geradas naquelas *redes* podem ser *condutas de água ou de gás*. A Figura 1 representa de forma esquemática a *circulação de correntes vagabundas* nas *armaduras de uma estrutura de betão armado*.

¹ O **metro ligeiro** entende-se como um tipo de *comboio urbano e/ou sub-urbano, geralmente de superfície, mas que pode ter também troços subterrâneos*, que tem **equipamentos e infra-estruturas mais leves, mais flexíveis e geralmente mais económicos** que os tipos *convencionais de comboios e de metros*, mas que são **mais “pesadas”** que os *também tradicionais eléctricos*.

² **750 V** é um dos valores estipulados nas normas *EN 50163 – Railway applications – Supply voltages of traction systems* e *IEC 60850 – Railway applications – Supply voltages of traction systems*.

³ A **LCE** é habitualmente designada por *catenária*. Em rigor, *catenária* é a **curva descrita por um cabo** (neste caso metálico, condutor) **tracionado entre dois pontos fixos e sujeito à acção da gravidade**. A curva exprime-se pela *função hiperbólica* $f(x) = a \cdot \cosh(x/a) = (a/2) \cdot (e^{(x/a)} + e^{-(x/a)})$, sendo $a = m' \cdot H/T_H$, onde m' é a massa por unidade de comprimento, H a distância entre apoios e T_H o esforço de tracção do cabo.

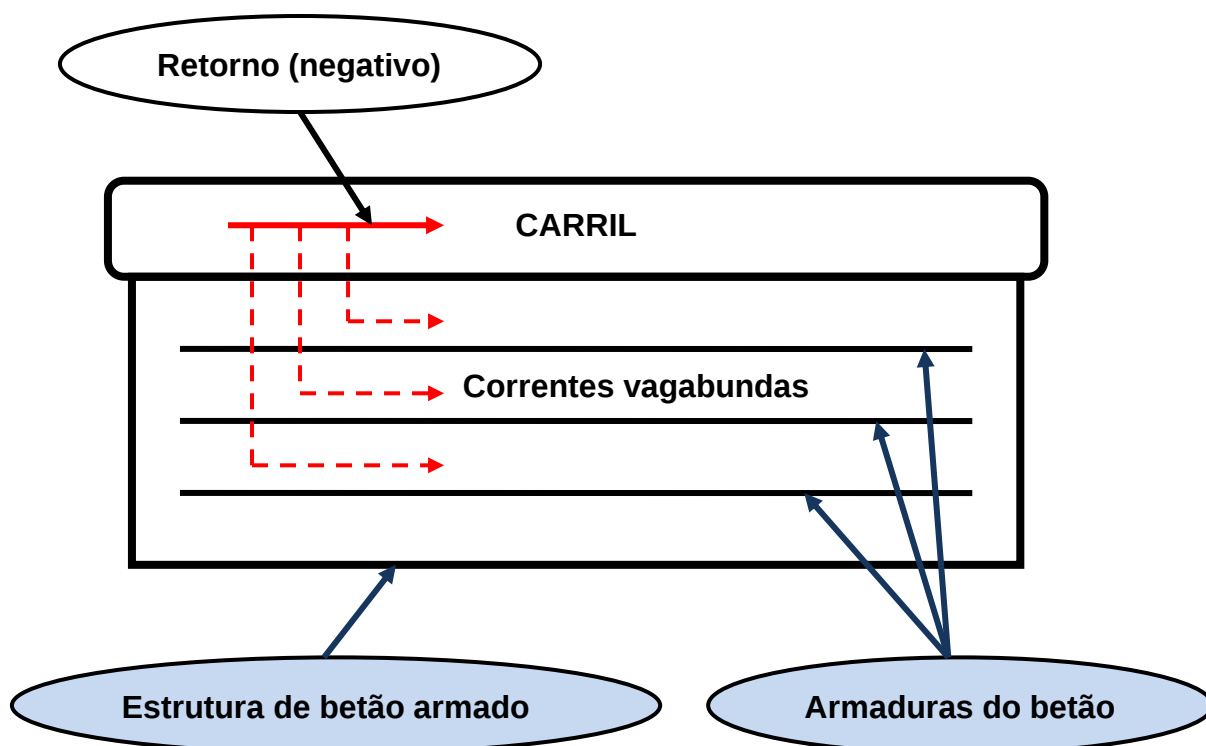


Figura 1 – Esquema simplificado das correntes vagabundas numa estrutura de betão armado (vista em corte)

Uma outra *fonte de correntes vagabundas*, mais vulgar em *instalações industriais*, é a **corrente de fuga dos ânodos auxiliares** dos vários sistemas de **protecção catódica**⁴ das diversas *tubagens enterradas* e que **podem afectar tubagens ou outras estruturas metálicas não protegidas**.

As *correntes de fuga* anteriormente referidas *percorrerão estruturas não protegidas* com **menor resistência** e *retornam à estrutura protegida*. As **zonas** onde, *na estrutura não protegida*, as *correntes vagabundas deixam aquela estrutura*, são as **mais susceptíveis de sofrerem corrosão**.

A Figura 2 representa, de uma forma esquemática, este tipo de situação.

⁴ **Protecção catódica** é uma técnica usada para a *protecção de superfícies metálicas contra a corrosão*, baseada no funcionamento das **pilhas electroquímicas**. Neste processo a *estrutura a proteger* funciona como **cátodo** e um *metal* que é *mais susceptível de ser corroído* é usado como **ânodo**, designado por **eléctrodo de sacrifício**. A *protecção catódica* pode ser **activa** ou **passiva**, caso seja **usada ou não** uma *fonte exterior de corrente contínua*.

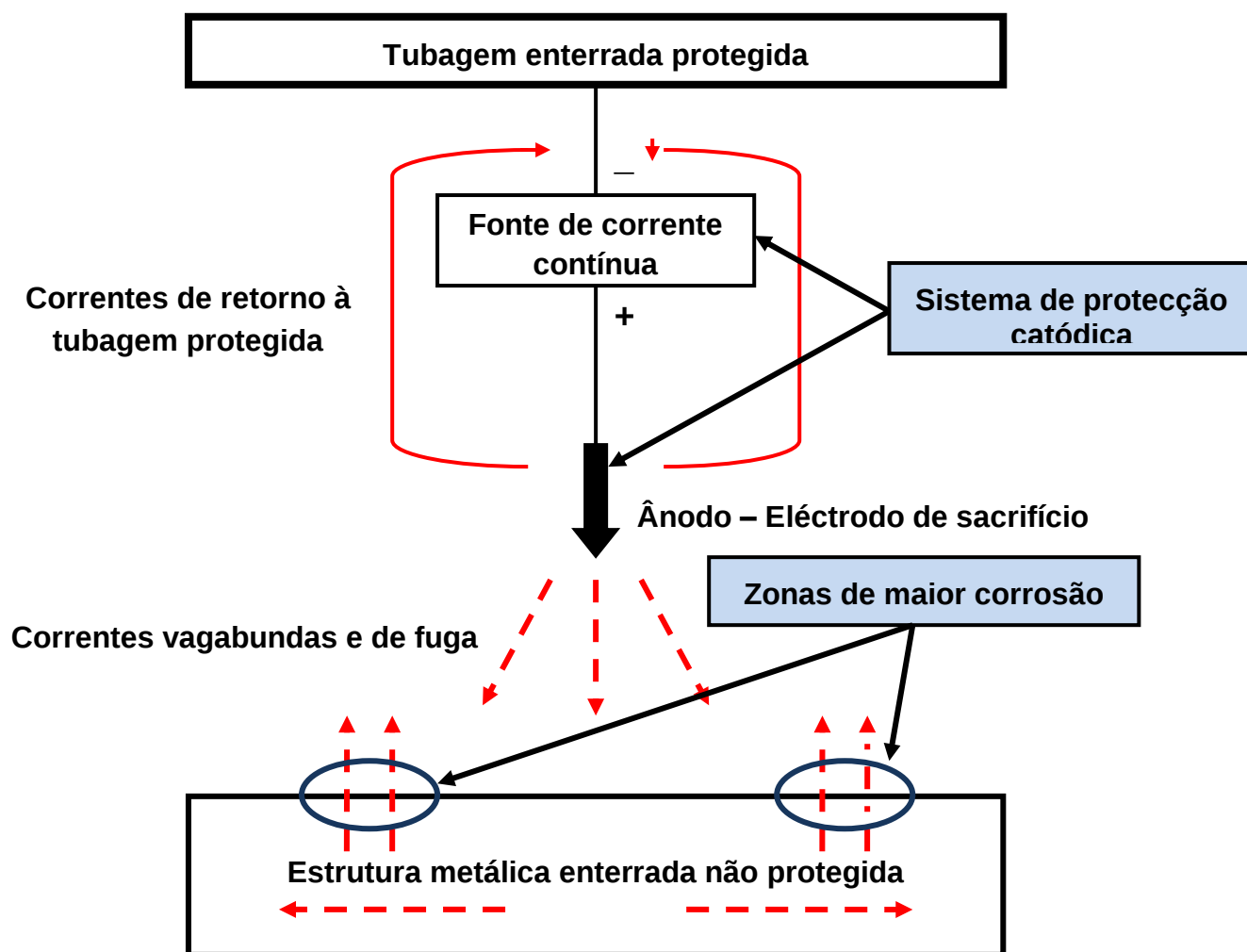


Figura 2 – Esquema simplificado de correntes vagabundas num sistema de protecção catódica (vista em corte)

A existência de *correntes vagabundas* conduz, em muitos casos, a problemas de **corrosão** motivados pelo facto de a *corrente* ao procurar um *caminho alternativo* ser obrigada a **entrar e a sair de várias estruturas (metálicas)**, onde os *transportadores da corrente* são os **electrões**, e a percorrer **percursos inorgânicos (solos)**, onde os *transportadores de corrente* são os **iões**. Esta *alteração de transportadores*, **electrões para iões e vice-versa**, implica, necessariamente, **semi-reacções de oxidação (corrosão)** e **semi-reacções de redução**.

Os locais onde a *corrente de iões* dá lugar a uma *corrente de electrões* (**locais onde a corrente abandona as estruturas metálicas**) são os *locais* onde se verificam os **fenómenos de corrosão**.

3. MEDIDAS PREVENTIVAS – ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

As **medidas preventivas** utilizadas para *diminuir* os **efeitos corrosivos** das *correntes vagabundas* nas **armaduras das estruturas de betão armado**, que devem estar de acordo com o disposto na *Norma EN 50122-2 – Railway applications – Fixed Installations – Part 2; Protective provisions against the effects of stray currents caused*

by d.c. traction systems, têm por princípio **minimizar e evitar** o surgimento daquelas correntes.

Desta forma, as **resistências associadas ao normal retorno da corrente** deverão ser **minimizadas** enquanto as **resistências associadas a retornos alternativos, geradoras de correntes vagabundas**, deverão ser **maximizadas**.

Os princípios básicos dos sistemas de protecção contra correntes vagabundas são, fundamentalmente, os seguintes:

- a) **Diminuir a resistência associada ao retorno da corrente.**
- b) **Aumentar a resistência entre o circuito de retorno e a terra.**
- c) **Aumentar a resistência entre a terra e estruturas metálicas enterradas** (neste caso as *armaduras do betão*).
- d) **Aumentar a resistência das estruturas metálicas enterradas.**

As medidas preventivas a implementar **aplicam-se a todos os troços** onde os carris se encontram envolvidos por estruturas de betão (como é o caso de um viaduto ou de um túnel) e são normalmente as seguintes:

1) Isolamento eléctrico dos carris com a terra

A medida mais vulgarmente utilizada é a instalação, **entre os carris e os apoios**, de uma **tira de neopreno**, com **espessura de 2 a 4 mm**, e com uma **largura que exceda a largura total do apoio em 1 cm para cada lado**, como se representa na Figura 3.

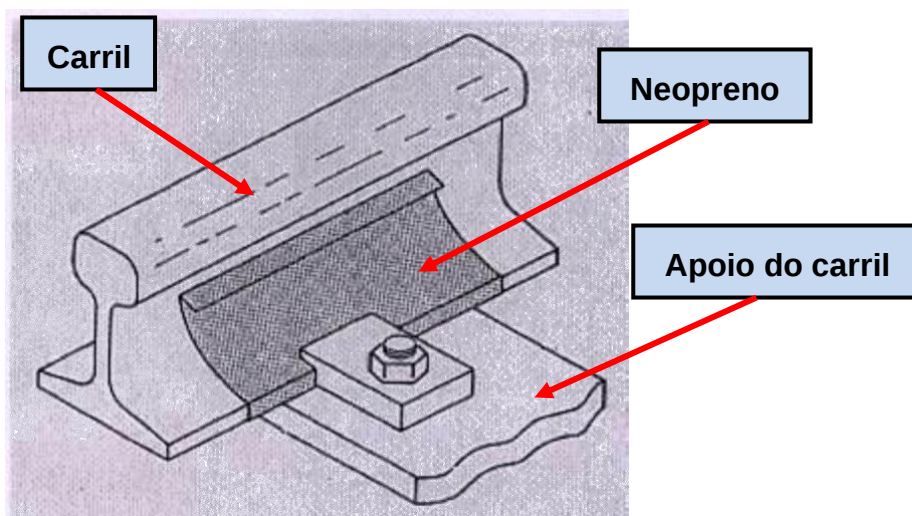


Figura 3 – Isolamento do carril com a terra

2) Diminuição da resistência entre carris

Sempre que no encontro dos carris a **união não seja feita por soldadura**⁵, deve ser garantida a **continuidade eléctrica dos carris** por meio de **trança de cobre flexível, isolada** (habitualmente de **16 mm²** de secção).

As **ligações das tranças aos carris** devem ser, **preferencialmente**, realizadas por meio de **soldaduras aluminotérmicas**.

⁵ As **ligações não soldadas** dos carris têm por objectivo **absorver as dilatações e contracções do metal** por efeito de temperatura.

3) Diminuição da tendência de retorno da corrente pelas armaduras da estrutura de betão armado

O método usualmente utilizado para este fim é a *instalação*, ao longo de toda a **estrutura de betão armado**, de um *material metálico*, que **garanta o escoamento das correntes vagabundas** através daquele *material*, evitando que as *correntes vagabundas fluam através das armaduras do betão*.

A utilização de **betão de alta resistividade** é um *princípio de base* para **minimizar o fluxo das correntes vagabundas através da estrutura de betão armado**.

Para além do referido no parágrafo anterior, uma das técnicas mais eficazes utilizadas consiste na montagem de uma **rede de liga de aço inoxidável** do tipo **AISI/ASTM 304⁶** (EN⁷ 1.4301⁸), obedecendo ao estipulado nas Normas **NP EN⁹ ISO¹⁰ 9227 – Corrosion tests in artificial atmospheres – Salt spray tests** e **NP EN 1670:2011 – Ferragens para construção civil. Resistência à corrosão. Requisitos e métodos de ensaio**, com uma espessura de **0,6 mm**.

Esta *rede*, com uma *malha* de **2x2 m** e uma *largura* de **1,0 m**, deve ser colocada no *encobrimento da laje de assentamento dos carris*, **entre estes e a armadura do betão**, a cerca de **2,5 cm** da *armadura* e **embebida no betão**, sob o *apoio de cada um dos carris*.

Os troços adjacentes da malha devem ser **ligados electricamente** com **trança de cobre flexível, isolada** (habitualmente de **16 mm²** de secção), a **cada 25 m**, aproximadamente, que deverá ser ligada por meio de **soldadura aluminotérmica**.

A **colocação** da *rede de aço inoxidável* deve ser feita para que, **em situação alguma**, a *rede* entre em **contacto eléctrico** com as **armaduras da estrutura a proteger** e com os **carris**, sendo recomendável que **durante a execução** deste trabalho seja efectuado um **teste de isolamento eléctrico** *entre os carris e a rede* e *entre as armaduras do betão e a rede*.

A *rede de aço inoxidável* deve ser **ligada à terra** por meio de **eléctrodos de terra de aço revestido a cobre**, com um **comprimento mínimo de 2 m**. Deve ser colocado um *eléctrodo de terra* em **ambas as extremidades** da *estrutura a proteger* e os restantes devem ser *distribuídos de forma equidistante*, com um *espaçamento típico* de **cerca de 90-100 m** e **afastados pelo menos 1 m** da *estrutura a proteger*.

Todos os *eléctrodos* devem ter uma **placa de medição de terra** alojada em *caixa própria*.

A *ligação entre os eléctrodos e as placas de medição de terra e a rede de aço inoxidável* deverá ser realizada por meio de **cabo de cobre isolado de 16 mm²**.

Todas as ligações deverão ser efectuadas por meio de soldadura aluminotérmica.

A Figura 4 representa, de uma forma esquemática, a solução atrás referida.

⁶ **AISI**: American Iron and Steel Institute. **ASTM**: American Society for Testing and Materials.

⁷ **EN**: Norma Europeia

⁸ Indica o valor da **permeabilidade magnética** (μ) de *perfis de aço inox*.

⁹ **NP EN**: Norma Portuguesa harmonizada com as normas europeias.

¹⁰ **ISO**: International Organization for Standardization.

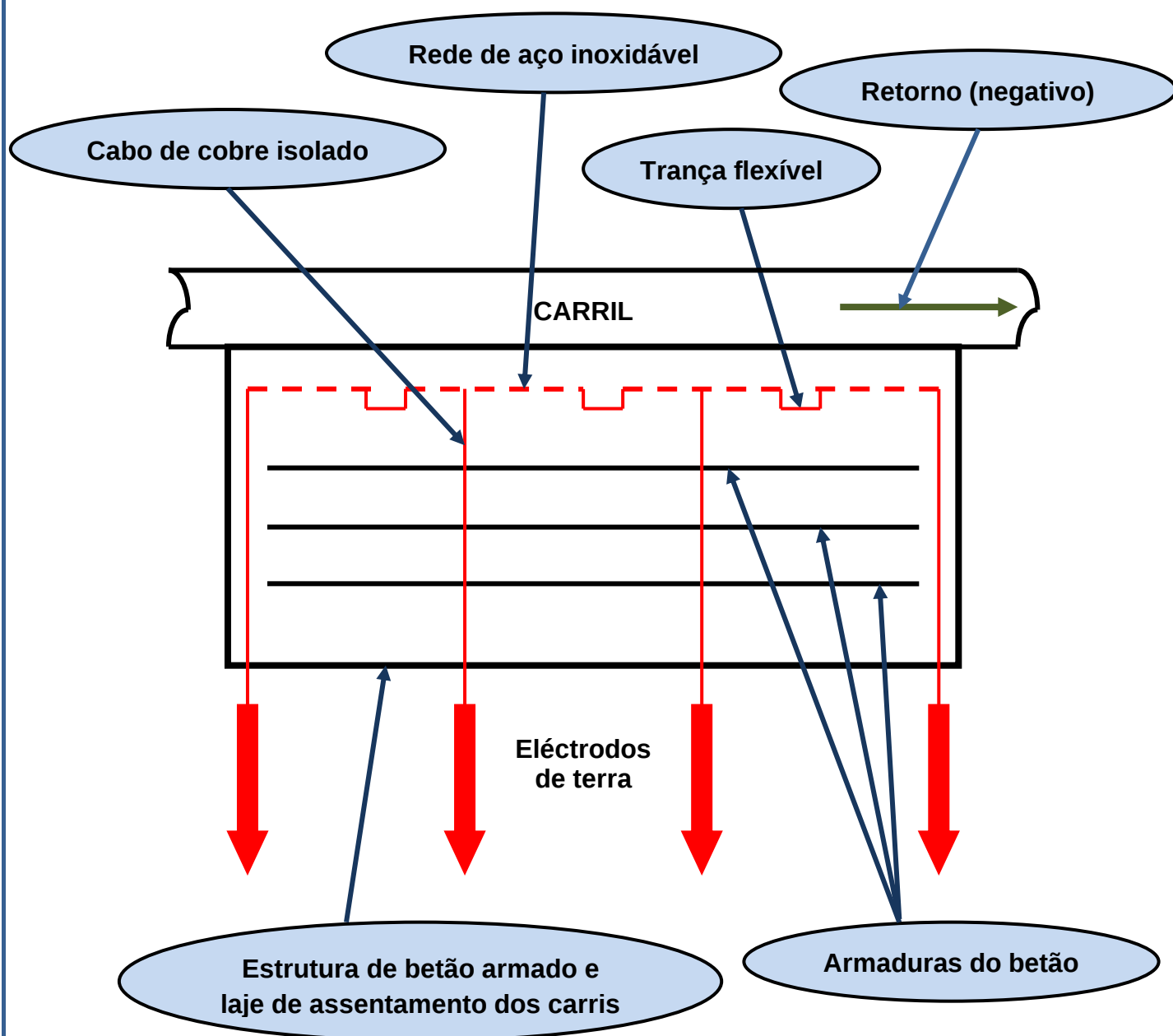


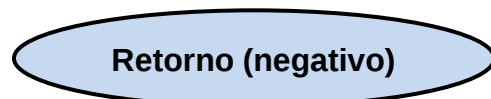
Figura 4 – Esquema simplificado do esquema de diminuição da tendência de retorno da corrente pelas armaduras da estrutura de betão armado (vista em corte)

4. MEDIDAS PREVENTIVAS – TUBAGENS METÁLICAS

O **efeito corrosivo** das **correntes vagabundas** em **tubagens metálicas** que corram **paralelamente à via**, ou a **cruzem**, dependem fundamentalmente de:

- *Distância da tubagem à via.*
- *Resistividade do terreno.*
- *Tipo e estado do sistema de revestimento da tubagem.*

Na Figura 5 representa-se em planta o **esquema de circulação das correntes vagabundas** numa **tubagem paralela à via**.



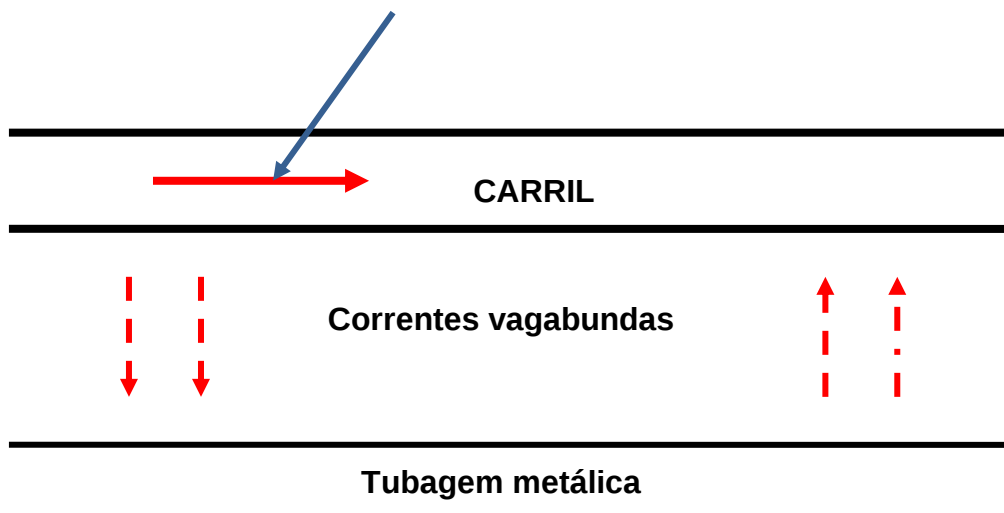


Figura 5 – Esquema simplificado das correntes vagabundas numa tubagem metálica (vista em planta)

A **protecção da tubagem** é realizada, para além do *isolamento eléctrico dos carris com a terra* e da *diminuição da resistência entre carris*, como referido no Capítulo 3, pela instalação de um **sistema de protecção catódica** (ver Capítulo 2).

5. MEDIDAS DE INSPECÇÃO E MONITORIZAÇÃO DA CORROSÃO DAS ARMADURAS DO BETÃO

As *estruturas de betão armado* integradas nas redes de metro devem ser **objecto de inspecções periódicas**, preferencialmente com **periodicidade semestral**, com o **objectivo de despistar focos de correntes vagabundas**.

Consideram-se *recomendáveis* os seguintes ensaios:

- Determinação da resistência entre os carris e a terra*. Este valor deve ser **superior a $10^6 \Omega$** .
- Determinação da diferença de potencial entre os carris e as armaduras de betão*. Esta *medição* e o *respectivo registo* devem ser efectuados em **cada um** dos *pontos de localização dos eléctrodos de terra* referidos no Capítulo 3, durante **24 h**, de *minuto a minuto*.
- Avaliação visual e electroquímica das estruturas de betão armado quanto a problemas de corrosão*.

A **monitorização da corrosão da armadura da estrutura** é habitualmente realizada por *sistemas específicos*, que permitem **controlar**:

- O **potencial electroquímico da armadura**, *relativamente a eléctrodos de terra de referência*, em dois níveis.
- A **condutividade iónica** do betão.
- A **velocidade de corrosão** de sondas de ferro colocadas na camada de recobrimento, a partir da **resistência de polarização**.

Se se utilizarem *sistemas* tipo MONICORR ou equivalente, é prática corrente instalar

três sistemas em cada um dos pontos de localização dos eléctrodos de terra referidos no Capítulo 3.

Cada sistema é constituído por **quatro sensores** (dois eléctrodos em aço inoxidável e dois eléctrodos do mesmo material da armadura) e um **eléctrodo de referência de Mn/MnO¹¹**.

Os sensores são **embebidos no betão**, sendo os sistemas instalados na **camada de recobrimento** e **ligados electricamente à armadura**, na fase de construção, conforme indicado na Figura 6.

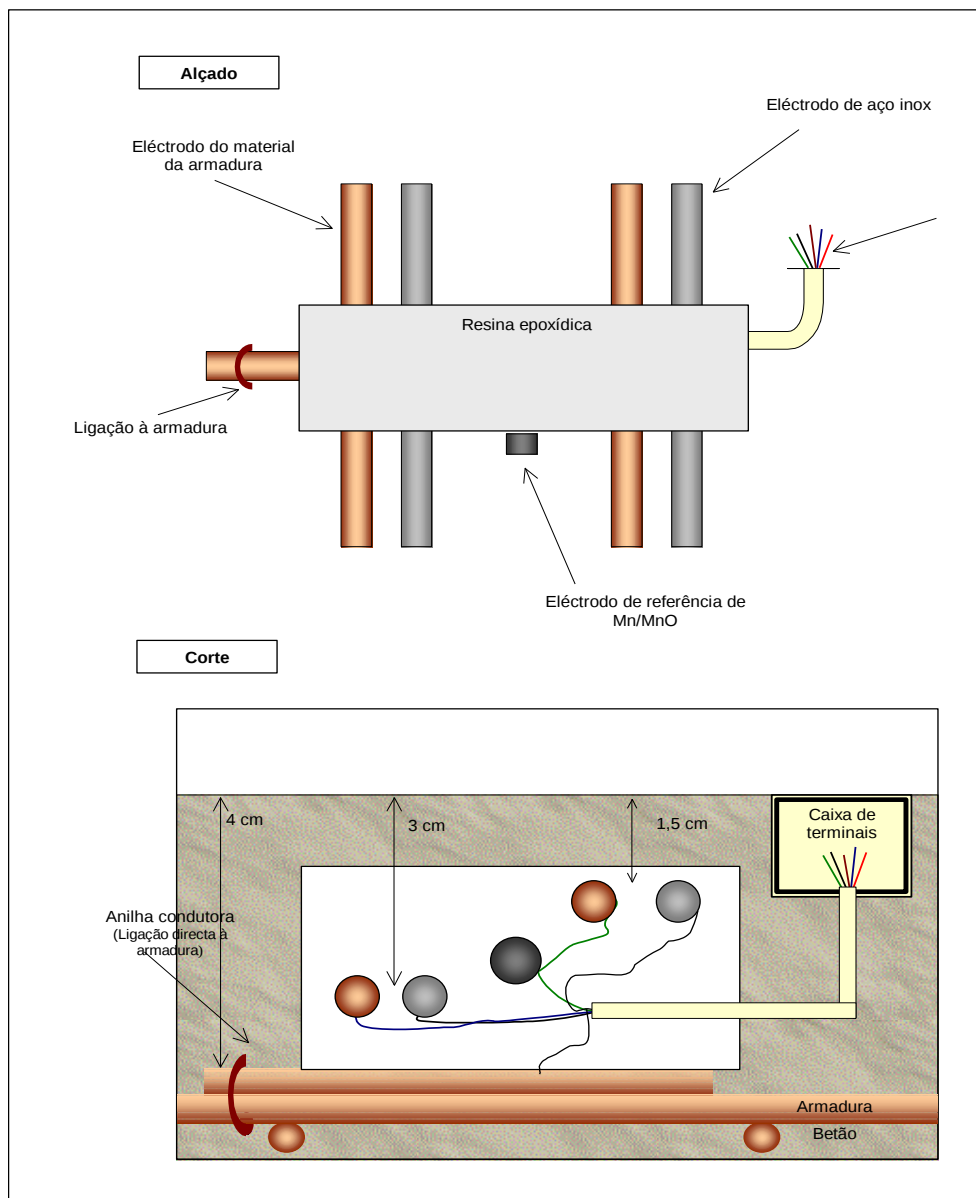


Figura 6 – Representação esquemática do sistema de monitorização

Toda a **informação recolhida** pode ser **centralizada, tratada e enviada** para um **centro de controlo**, com a periodicidade pretendida, através de um **sistema de aquisição e tratamento de dados**, o que permite a **intervenção atempada** das **equipas de**

¹¹ **Mn**: símbolo químico do *manganês*. **MnO**: símbolo químico do *óxido de manganês*.

manutenção.

6. MONITORIZAÇÃO DA CORROSÃO DE TUBAGENS METÁLICAS

A **monitorização da corrosão** de *tubagens metálicas enterradas*, nas zonas onde o *traçado da linha de metro lhes é paralela*, pelo facto destas apresentarem **risco** de serem *influenciadas por correntes vagabundas*, sugere-se que sejam efectuadas as **inspecções periódicas** referidas em a) e b) do Capítulo 5, igualmente com **periodicidade semestral**.

ⁱ O Autor **não** segue o Novo Acordo Ortográfico.