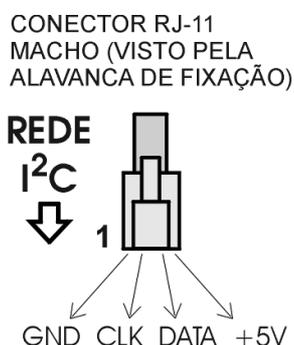


## Rede de Comunicação I<sup>2</sup>C

A rede de comunicação I<sup>2</sup>C do controlador  $\mu$ DX201 permite conectar vários dispositivos à distância, com uma quantidade mínima de conexões. Trata-se de uma rede de baixa velocidade (2667 bps), que pode atingir até 1000 metros de extensão. Atualmente é possível adquirir sensores de temperatura e umidade ambiente, keypads com infravermelho, dimmers para controle de iluminação e expansões de saída à relé ( $\mu$ DX212) para a rede I<sup>2</sup>C. O endereçamento dos dispositivos é feito com 7 bits, sendo os 4 bits superiores indicativos do dispositivo, e os 3 bits inferiores o endereço do dispositivo. Com isso, a rede permite conectar até 8 dispositivos iguais simultaneamente, apenas exigindo que possuam endereços diferentes (de endereço 0 a endereço 7).

A rede I<sup>2</sup>C possui quatro fios: alimentação elétrica (+5V), sinal de dados (DATA), sinal de clock (CLK), e referência da alimentação elétrica (GND). A pinagem do conector RJ-11 a ser ligado ao  $\mu$ DX201 é a seguinte:



### Distâncias na rede I<sup>2</sup>C

O cálculo de distâncias máximas para conexão dos dispositivos deve levar em consideração dois limitantes: capacitância do cabo (restrição imposta pelas linhas de dados e clock) e resistência do cabo (restrição imposta pelas linhas de alimentação elétrica). Como as linhas de DATA e CLK variam no tempo, pois transmitem os dados para os dispositivos, a capacitância apresentada pela rede I<sup>2</sup>C irá distorcer a forma de onda e, em um caso extremo, corromper os dados. Já as linhas de +5V e GND não variam com o tempo e, portanto, não estão sujeitas a restrições devido à capacitância da rede. Mas elas fornecem energia para os dispositivos ligados à rede I<sup>2</sup>C e, portanto, existe queda de tensão na cablagem devido as correntes que circulam nos cabos. Em um caso limite a tensão irá sofrer queda de tal ordem que não será possível alimentar os equipamentos.

A restrição devido à capacitância da rede I<sup>2</sup>C é facilmente calculável tendo-se qual a capacitância por metro do cabo utilizado. A capacitância total deve ser inferior ou igual a 56nF. Já a restrição devido à resistência do cabo depende do número de dispositivos ligados à rede I<sup>2</sup>C, além de suas distâncias ao  $\mu$ DX201. A resistência equivalente total (já iremos definir o que é resistência equivalente) deve ser igual ou inferior a 100 $\Omega$ . Portanto:

$$R_{\text{EQU}} \leq 100\Omega$$

$$C_{\text{TOTAL}} \leq 56\text{nF}$$

A restrição de capacitância é calculada em função do comprimento total da rede I<sup>2</sup>C multiplicada pela capacitância por metro do cabo utilizado. Então:

$$s \times \Sigma l \leq 56nF$$

sendo:  $\sigma$  = capacitância por metro do cabo em Farads por metro (F/m).  
 $\Sigma\lambda$  = somatório das distâncias da rede I<sup>2</sup>C em metros (m).

Já a restrição de resistência depende da quantidade de equipamentos conectados à rede I<sup>2</sup>C, e também do consumo de cada equipamento. O dispositivo com maior consumo é o Keypad. Já os sensores de umidade e transmissores de infravermelho (IR-TX) consomem metade de um keypad, e sensores de temperatura, dimmers e  $\mu$ DX212 consomem um quarto de um keypad. Logo, vou definir um peso para cada tipo de dispositivo:

$$\begin{aligned} h_{\text{KEYPAD}} &= 1 \\ h_{\text{UMIDADE}} &= 0,5 \\ h_{\text{IR-TX}} &= 0,5 \\ h_{\text{TEMPERATURA}} &= 0,25 \\ h_{\text{DIMMER}} &= 0,25 \\ h_{\mu\text{DX212}} &= 0,25 \end{aligned}$$

Ou seja, um Keypad equivale, em termos de consumo, a dois sensores de umidade, ou ainda a quatro Expansões  $\mu$ DX212 ligadas à rede I<sup>2</sup>C. Com isso, podemos definir resistência equivalente como a resistência do cabo multiplicada pelo número equivalente em keypads de dispositivos conectados a este cabo. Em simbologia matemática:

$$r \times S(l.h) \leq 100W$$

sendo:  $\rho$  = resistência por metro do cabo em ohms por metro ( $\Omega/m$ ).  
 $\Sigma(\lambda.\eta)$  = somatório do produto das distâncias de cada trecho da rede I<sup>2</sup>C em metros pelo número equivalente de equipamentos conectados a este trecho (m).

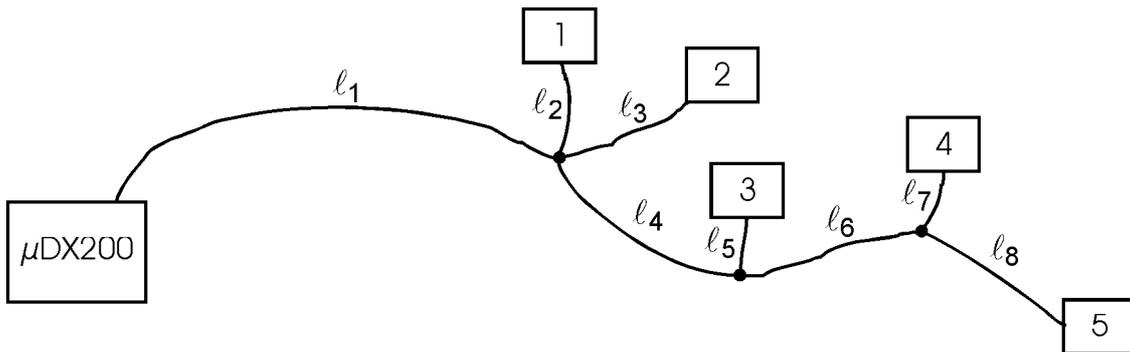
Por exemplo, um cabo UTP categoria 5 possui, tipicamente:

$$\begin{aligned} r &= 100W/Km \\ s &= 56nF/Km \end{aligned}$$

Neste caso as fórmulas se reduzem a:

SI £ 1000m  
 S(l.h) £ 1000m

Vamos considerar um caso prático para ilustrar o uso das fórmulas. Considere a disposição abaixo:



As fórmulas seriam:

$S \times (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8) \text{ £ } 56nF$   
 $r \times [l_1(h_1+h_2+h_3+h_4+h_5) + l_2 \times \eta_1 + l_3 \times \eta_2 + l_4(h_3+h_4+h_5) + l_5 \times \eta_3 + l_6(h_4+h_5) + l_7 \times \eta_4 + l_8 \times \eta_5] \text{ £ } 100W$

Considerando cabo UTP com as características descritas anteriormente, fica:

$(l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8) \text{ £ } 1000m$   
 $[l_1(h_1+h_2+h_3+h_4+h_5) + l_2 \times \eta_1 + l_3 \times \eta_2 + l_4(h_3+h_4+h_5) + l_5 \times \eta_3 + l_6(h_4+h_5) + l_7 \times \eta_4 + l_8 \times \eta_5] \text{ £ } 1000m$

Se as distâncias e dispositivos forem:

- |                    |   |
|--------------------|---|
| $\lambda_1 = 400m$ | $\eta_1 = 1$ (keypad)                   |
| $\lambda_2 = 2m$   | $\eta_2 = 0,5$ (sensor de umidade)      |
| $\lambda_3 = 2m$   | $\eta_3 = 1$ (keypad)                   |
| $\lambda_4 = 50m$  | $\eta_4 = 0,25$ ( $\mu DX212$ )         |
| $\lambda_5 = 5m$   | $\eta_5 = 0,25$ (sensor de temperatura) |
| $\lambda_6 = 5m$   |   |
| $\lambda_7 = 2m$   |   |
| $\lambda_8 = 10m$  |   |

Irá resultar em:

$(400+2+2+50+5+5+2+10) = 476m \leq 1000m$  **OK!**

$[400(1+0,5+1+0,25+0,25) + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,5 + 50(1+0,25+0,25) + 5 \cdot 1 + 5(0,25+0,25) + 2 \cdot 0,25 + 10 \cdot 0,25] = 1288,5 > 1000m$  **NOK!**

Ou seja, o critério de capacitância total foi atendido, mas o de resistência equivalente não. Considere que coloquemos, então, 2 fios para cada linha de alimentação da rede I<sup>2</sup>C no trecho mais longo (400m). Como cada cabo UTP possui 4 pares de fios usaremos 2 pares para alimentação (+5V e GND) e um par para dados (DATA e CLK). Ainda restaria um par de fios no cabo. Com isso, a resistência por metro no trecho de 400m cai pela metade e, portanto, equivale a metade da distância:

$$[ 200(1+0,5+1+0,25+0,25) + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,5 + 50(1+0,25+0,25) + 5 \cdot 1 + 5(0,25+0,25) + 2 \cdot 0,25 + 10 \cdot 0,25 ] = 688,5 \leq 1000m \quad \text{OK!}$$

Concluindo, nesta instalação fomos obrigados a usar dois pares de fios UTP para cada alimentação da rede I<sup>2</sup>C no trecho de 400 metros. Os demais trechos podem utilizar apenas um par de fios UTP. É claro que isso vale para cabo UTP com as características de 100Ω/Km e 56nF/Km. Cabos com características diferentes poderão acarretar em distâncias maiores ou menores (neste caso deve-se usar a fórmula que utiliza ρ e σ nos cálculos).

### Tempos de Leitura e Escrita da Rede I<sup>2</sup>C

A rede I<sup>2</sup>C possui uma velocidade baixa de comunicação (2667 bps) e, portanto, é necessário levar isso em consideração no caso da existência de Keypads, Dimmers ou Expansões μDX212 (no caso de redes com apenas sensores de temperatura e umidade ambientes isso é irrelevante, devido a estas grandezas variarem lentamente com o tempo). Um limite aceitável para o atraso máximo na rede I<sup>2</sup>C, caso existam Keypads ou μDX212, seria de:

<b>Dt ≤ 275ms</b>
-------------------

Os atrasos inseridos por cada tipo de dispositivo são diferentes:

<b>Dt Keypad = 15,5ms</b>
<b>Dt Keypad (16 bits) = 18,9ms</b>
<b>Dt μDX212 = 15,5ms</b>
<b>Dt IR-TX = 15,5ms</b>
<b>Dt Dimmer = 34,0ms</b>
<b>Dt Umidade = 15,5ms</b>
<b>Dt Temperatura = 23,3ms</b>
<b>Dt Temperatura (μDX100) = 26,7ms</b>
<b>Dt Temperatura (μDX200) = 26,7ms</b>

Note que as diferenças no atraso inserido por sensores de temperatura dependem se o sensor está sendo lido por bloco Temperatura, Temperatura (μDX100), ou Temperatura (μDX200). Já no caso do Keypad a leitura em 16 bits (altamente aconselhável, de forma a permitir testar a consistência dos dados) leva 19ms, enquanto a leitura em 8 bits é um pouco mais rápida.

Note que o atraso de 34ms do Dimmer é para o uso dos quatro canais deste. Caso sejam utilizados menos canais o atraso diminui proporcionalmente.

Portanto, se utilizarmos 4 Keypads + 4 Expansões μDX212 + 4 Dimmers (o que perfaz 32 teclas, 32 saídas digitais, e 16 saídas com dimmer) já estaremos no limite de atraso e não será conveniente acrescentar mais dispositivos I<sup>2</sup>C:

$$15,5ms \cdot 4 + 18,9ms \cdot 4 + 34,0ms \cdot 4 = 273,6ms$$

## Distâncias para Alimentação Elétrica dos Equipamentos

A rede I<sup>2</sup>C supre alimentação elétrica (+5V e GND) para sensores de temperatura e umidade e também para os Keypads. Mas as Expansões de Saídas  $\mu$ DX212 devem ser alimentadas com +24V (ou, no caso de  $\mu$ DX212-12, com +12V), pois possuem relés e seu consumo excede a capacidade de corrente da rede I<sup>2</sup>C. É preciso suprir alimentação elétrica local, ou trazer esta alimentação a partir do  $\mu$ DX201. Também os Dimmers I<sup>2</sup>C são alimentados em +12V ou +24V.

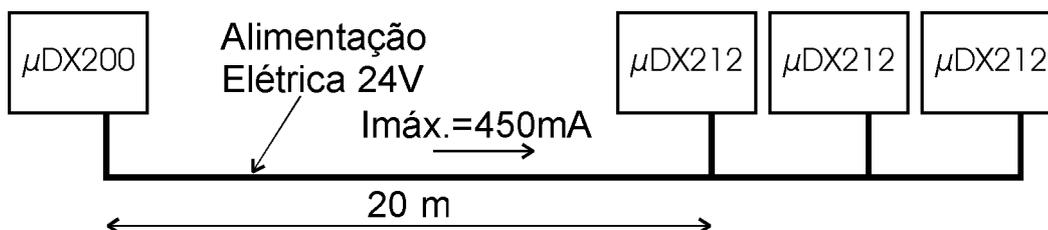
Os cabos de alimentação dos vários equipamentos que necessitam de fontes de +12V ou +24V devem ser dimensionados de forma a não causar excessiva queda de tensão. A máxima queda de tensão permitida é de 10%.

Assim, em 24V a queda máxima é de 2,4V, e em 12V a queda máxima admissível é de 1,2V. Note que equipamentos alimentados em 12V são bem mais críticos que os alimentados em 24V, já que além de consumirem maior corrente ainda admitem uma queda menor de tensão na cablagem.

Os consumos de corrente para os diversos equipamentos alimentados externamente são:

<b>Controlador <math>\mu</math>DX201:</b>	<b>12V@150mA ou 24V@150mA</b>
<b>Expansão <math>\mu</math>DX210:</b>	<b>24V@200mA máx.</b>
<b>Expansão <math>\mu</math>DX210-12:</b>	<b>12V@300mA máx.</b>
<b>Expansão <math>\mu</math>DX211:</b>	<b>12V@100mA ou 24V@100mA máx.</b>
<b>Expansão <math>\mu</math>DX212:</b>	<b>24V@150mA máx.</b>
<b>Expansão <math>\mu</math>DX212-12:</b>	<b>12V@250mA máx.</b>
<b>Dimmer:</b>	<b>12V@50mA ou 24V@50mA</b>
<b>Dimmer I<sup>2</sup>C:</b>	<b>12V@30mA ou 24V@30mA</b>
<b>Amplificador Célula:</b>	<b>24V@25mA (1 célula de carga de 350W)</b>

Por exemplo, digamos que tenhamos três  $\mu$ DX212 a cerca de 20 metros do  $\mu$ DX201. Se eles forem alimentados em 24V ( $\mu$ DX212):



Como a queda de tensão máxima admissível é 2,4V, então:

$$R_{\text{máx.}} = 2,4V / 0,45A = 5,33\Omega$$

Como existem dois cabos, um para os +24V e outro para GND a resistência do cabo deve ser a metade da calculada:

$$R_{\text{cabo}} = 5,33\Omega / 2 = 2,7\Omega$$

Como a distância é de 20 metros, o cabo deve ter 2,7 $\Omega$  em 20m, ou seja, 135 $\Omega$ /Km. Portanto, neste caso, um par UTP é suficiente para alimentar as três Expansões  $\mu$ DX212.

Já se fossem  $\mu$ DX212-12 (para alimentação elétrica em 12V):

$$R_{\text{máx.}} = 1,2\text{V} / 0,75\text{A} = 1,6\Omega$$

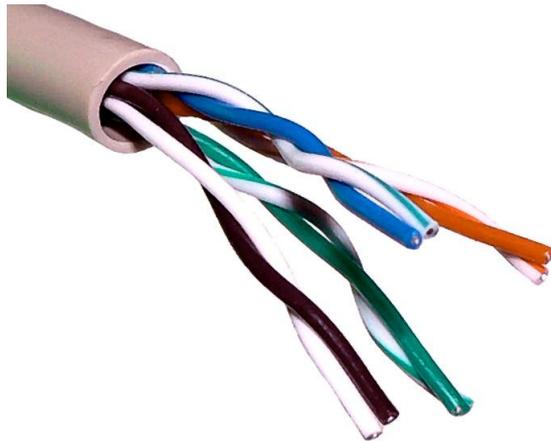
$$R_{\text{cabo}} = 1,6\Omega / 2 = 0,8\Omega$$

Como a distância é 20m, resulta que precisamos de cabo com 40Ω/Km. Veja que, neste caso, um par UTP é insuficiente para alimentar os três μDX212-12 (UTP com 90Ω/Km). Seriam necessários 3 fios do cabo UTP para cada linha de alimentação. Com isso, a resistência por Km do cabo cairia para 30Ω/Km, abaixo da resistência máxima admissível (40Ω/Km).

### **Instalação Residencial e Predial**

A rede I<sup>2</sup>C não deve compartilhar eletrodutos com cabos de força. Ou seja, é necessário prever eletrodutos exclusivos para cabos de dados, como rede I<sup>2</sup>C ou rede DXNET. Em especial, deve ser evitado que cabos de força (iluminação, tomadas, etc.) estejam em paralelo com os cabos de dados, pois o acoplamento capacitivo resultante pode degradar a rede de comunicação a ponto de impedir a comunicação. Onde não for possível afastar cabos de força e cabos de dados, tente efetuar os cruzamentos entre os cabos a 90°, de forma a minimizar o acoplamento entre eles.

Para melhorar a blindagem pode ser usado um cabo STP (shielded twisted pair) categoria 5 em vez de UTP (unshielded twisted pair) categoria 5. Além disso, convém não usar nunca os sinais de DATA e CLK no mesmo par de condutores do cabo, de forma a evitar acoplamentos entre estes dois sinais. Note que os sinais (CLK e DATA) da rede I<sup>2</sup>C do controlador μDX201 não são diferenciais e, portanto, não devem ocupar o mesmo par de condutores. Assim, se forem usados dois pares de fios do cabo (+5V, GND, DATA e CLK) usar, por exemplo, +5V e DATA em um par, e CLK e GND no outro par. Pares de fio não utilizados no cabo podem ser conectados ao sinal de GND para melhorar a imunidade à ruídos elétricos.

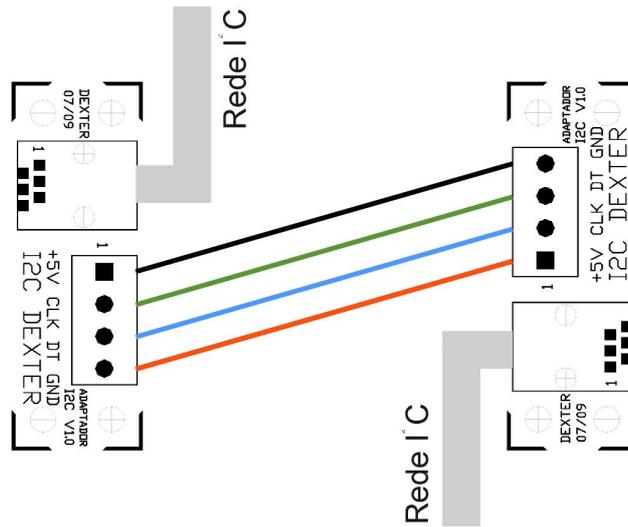


Para facilitar a conexão dos dispositivos à rede I<sup>2</sup>C a Dexter disponibiliza uma série de acessórios, como Placa de Extensão, Multiplicador de Linha I<sup>2</sup>C, Derivador para Linha I<sup>2</sup>C e Placa Adaptadora para Rede I<sup>2</sup>C.

No caso dos três primeiros itens tanto a entrada quanto as saídas para rede I<sup>2</sup>C utilizam conectores RJ-11, e seu uso é relativamente facilitado pela polarização deste conector. Já a Placa Adaptadora para Rede I<sup>2</sup>C transforma a conexão via conector RJ-11 em conexão por fios parafusados. Com isso, é preciso cuidado para não inverter as conexões da rede I<sup>2</sup>C. No caso de curto entre os fios da

I<sup>2</sup>C eles não são danificados, e caso haja curto entre +5V e GND o  $\mu$ DX201 se desligará automaticamente (o led de energia diminui seu brilho). Neste caso deve-se desenergizar o equipamento, interromper o curto-circuito, aguardar um ou dois minutos e reenergizar o  $\mu$ DX201.

No caso de uso de duas Placas Adaptadoras para Rede I<sup>2</sup>C, de forma a comutar entre RJ-11 e fio, e mais adiante retornar ao RJ-11, é preciso atentar para o fato de que é preciso inverter a polaridade dos fios na segunda placa, já que nesta a saída da placa está sendo usada como entrada:



**DEXTER Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos Ltda.**

Av. Pernambuco, 1328, cjs. 307/309 - CEP:90240-001 - Porto Alegre - RS

Fone: (51) 3208-0533 - Celular: (51) 99963-0370

Página Internet: <http://www.dexter.ind.br>

E-mail: [dexter@dexter.ind.br](mailto:dexter@dexter.ind.br)

