

JOSÉ ANTONIO SIQUEIRA DIAS

Engenheiro Elétrico, modalidade Eletrônica
Universidade Estadual de Campinas, 1979.

"OBTENÇÃO DE UM PROCESSO PARA A CONFECÇÃO DE
CIRCUITOS DIGITAIS I^2L (LÓGICA DE INJEÇÃO
INTEGRADA) E CIRCUITOS ANALÓGICOS DE ALTA
VOLTAGEM NA MESMA PASTILHA".

06/82

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia de Campinas da UNICAMP
como requisito parcial para a obtenção
do título de "Mestre em Engenharia
Elétrica".

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ignacio Zamitti Mammana

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia de Campinas
Departamento de Engenharia Elétrica
Laboratório de Eletrônica e Dispositivos

Aos meus pais Walter e Odette e à minha esposa, Fernanda.

Agradecimentos

Ao Prof. Carlos Ignacio Zamitti Mammana pela orientação e organização dada ao trabalho.

Aos professores, pesquisadores e funcionários do LED que contribuíram para a realização deste trabalho e em especial ao Prof. Alberto Martins Jorge, pelas inúmeras sugestões e incentivo.

- Este trabalho contou com o apoio financeiro das seguintes entidades:

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

TELEBRAS - Telecomunicações Brasileiras S/A.

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas.

RESUMO

Quando apresentada em 1972, uma das principais promessas da tecnologia I^2L era a possibilidade de confeccionar circuitos digitais e analógicos na mesma pastilha. Entretanto, os requisitos necessários para a confecção dos circuitos I^2L limitam severamente o desempenho dos transistores NPN da parte analógica da pastilha, que apresentam tensões de ruptura muito baixas devido ao fenômeno de "punch-through".

Este trabalho apresenta uma nova técnica para a confecção de circuitos digitais I^2L e circuitos de alta tensão de ruptura na mesma pastilha, usando apenas uma máscara adicional em relação ao processo convencional de confecção de circuitos I^2L e analógicos na mesma pastilha.

São apresentados também, além da máscara de teste, os resultados experimentais que fornecem, para uma estrutura I^2L com 6 coletores, $\beta_{eff} \approx 8$, e tempo de atraso mínimo por porta $t_a \approx 75$ ns. Para os transistores da parte analógica, obteve-se $VCEO \approx 35V$ e $VCBO \approx 65V$.

ÍNDICE

0. INTRODUÇÃO	
Introdução	i
1. A LÓGICA DE INJEÇÃO INTEGRADA	
1.1. Princípio de Funcionamento de uma Porta I^2L	1.1
1.2. Tecnologias Convencionais de Confecção de Circuitos I^2L	1.7
1.3. Geometria das Portas I^2L	1.10
2. TECNOLOGIA DE CONFECÇÃO	
2.1. O Processo de Dupla Difusão de Base	2.1
2.2. Perfis de Dopagem	2.3
2.2.1. Transistores de Alta Tensão de Ruptura	2.3
2.2.2. Transistores I^2L	2.14
3. MÁSCARA DE TESTE	
3.1. Projeto da Máscara de Teste	3.1
3.2. Confecção do Conjunto de Máscaras	3.3
4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	
4.1. O Processo Fixado	4.1
4.2. Medidas Realizadas nos Circuitos Digitais I^2L	4.2
4.2.1. Osciladores em Anel	4.2
4.2.2. Injetor (PNP Lateral)	4.4
4.2.3. Portas I^2L com Dois Coletores	4.5
4.2.4. Porta I^2L com Seis Coletores	4.6
4.2.5. Função de Transferência Estática de uma Porta I^2L	4.11
4.2.6. Tensões de Ruptura	4.13
4.3. Medidas Realizadas nos Transistores da Parte Analógica	4.13
4.3.1. Tensões de Ruptura	4.13
4.3.2. Ganho de Corrente em Emissor Comum	4.14
4.3.3. Características dos Diodos Base-emissor e Base-coletor dos Transistores de Base Rasa e Base Profunda	4.17
4.4. Medidas de Parâmetros de Processo	4.23
4.4.1. Medidas de Resistividade e Resistência de Contato	4.23
4.4.2. Medidas de Profundidade da Junção	4.23
5. CONCLUSÃO	
Conclusão	5.1
APÊNDICE A - Programa para Cálculo do Perfil equivalente de emissor	A.1
APÊNDICE B - Programas em LPG para Geração Automática de Máscaras	B.1

APÊNDICE C - Ficha do Programas de Processamento	C.1
REFERENCIAS	R.1

INTRODUÇÃO

Dentre as várias tecnologias de confecção de circuitos integrados digitais bipolares, a lógica de Injeção Integrada (I^2L) tem recebido especial atenção dos projetistas devido às suas características de baixo consumo, alta densidade, boa velocidade e, principalmente, por ser compatível com outras tecnologias bipolares.

Entretanto, circuitos I^2L confeccionados com um processo que forneça tensões de ruptura altas ($VCEO \approx 30$ V e $VCBO \approx 60$ V) para os transistores da parte analógica não operam satisfatoriamente, apresentando "fan-out" muito baixo e tempos de atraso muito altos, comparados com o I^2L otimizado.

Neste trabalho apresentaremos um processo em que, usando difusão independente para as bases, obtemos perfis de dopagens diferentes para os transistores dos circuitos analógicos e I^2L , otimizando os seus desempenhos.

Para a implantação do processo, foi projetada e confeccionada uma máscara de teste, que permite analisar os parâmetros tecnológicos e os dispositivos confeccionados nas partes I^2L e analógica da pastilha.

CAPÍTULO 1

A LÓGICA DE INJEÇÃO INTEGRADA - I^2L 1.1. Princípio de Funcionamento de uma Porta I^2L

A estrutura I^2L pode ser visualizada com a introdução de algumas modificações na estrutura básica dos circuitos da lógica DCTL (Direct Coupled Transistor Logic) [1]. Na figura 1.1 temos uma porta DCTL, que está redesenhada, na figura 1.2, com o "deslocamento" do resistor de coletor de uma porta para a base da porta seguinte. Como podemos notar, a parte que se encontra dentro das linhas tracejadas pode ser simplificada, já que os dois transistores têm em comum as bases e os emissores. Dessa forma podemos substituir os dois transistores por um transistor multi-coletor, como indicado na figura 1.3.

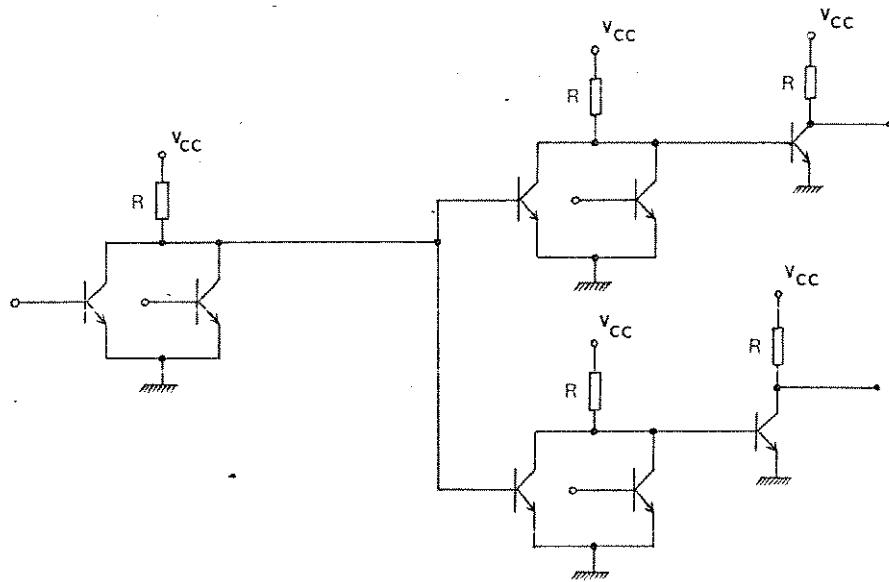


Figura 1.1 - Estrutura de uma Porta DCTL

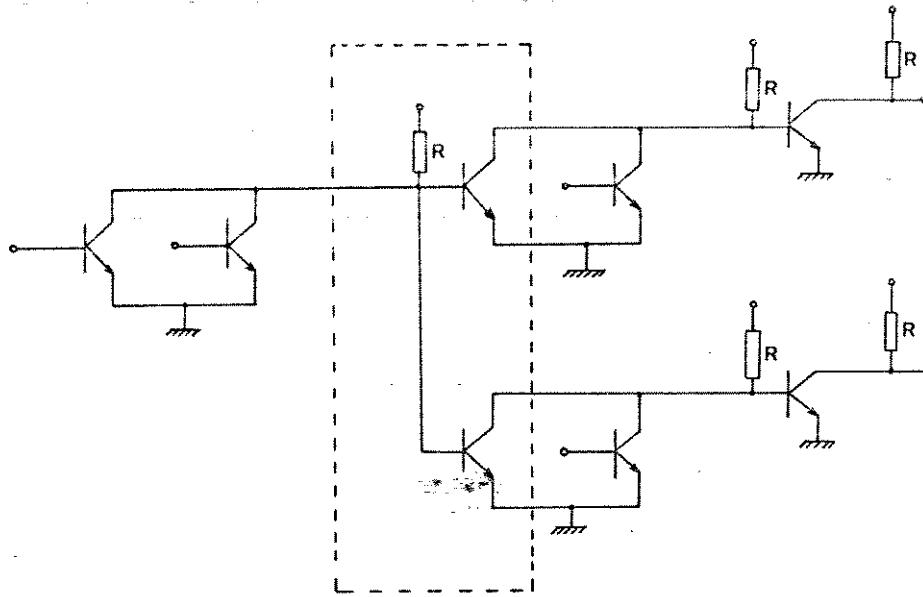


Figura 1.2 - Estrutura DCTL após o "deslocamento" dos resistores

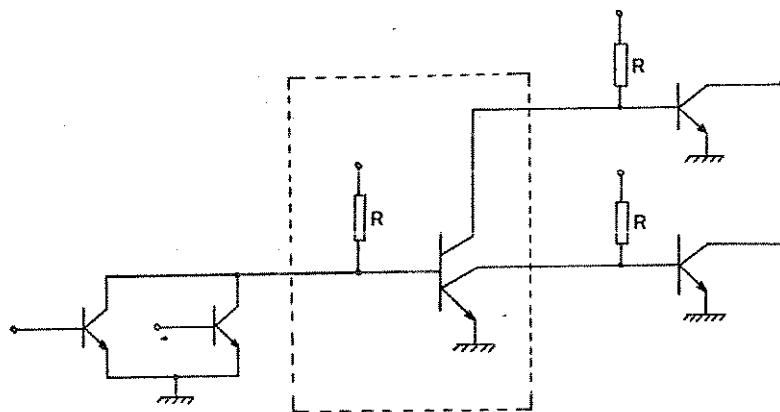


Figura 1.3 - Os transistores que têm as bases e os emissores ligados no mesmo ponto são transformados em um transistor multicoletor.

Um dos principais fatores que limitam a compactação na confecção de circuitos integrados é a utilização de resistores, principalmente os de alto valor, pois ocupam uma grande área e consequentemente não permitem obter níveis elevados de compactação. Na lógica I^2L , os resistores são substituídos por cargas ativas, como indicado na figura 1.4.

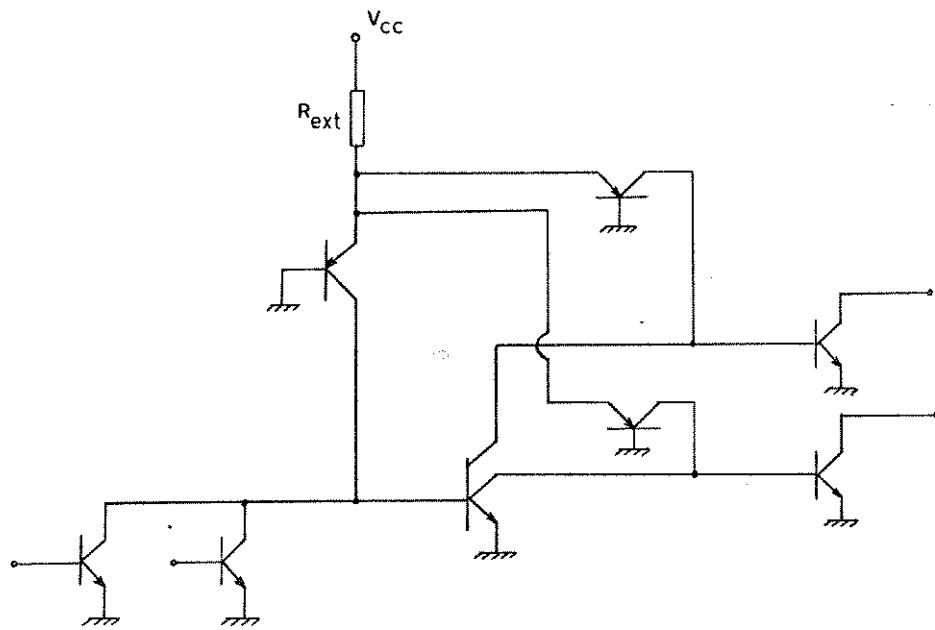


Figura 1.4 - Os resistores são substituídos por transistores PNP.

A carga ativa, constituída pelo transistor PNP, apresenta uma grande vantagem em termos de compactação. Como podemos observar na figura 1.4, todos os transistores PNP têm as bases ligadas em terra e os emissores ligados a um resistor externo. Isso possibilita a confecção de um transistor PNP multi-coletor, o que aumenta consideravelmente a compactação dos circuitos I^2L . Na figura 1.5 temos a estrutura final de duas portas I^2L .

O resistor R_{ext} é dimensionado de acordo com os níveis de corrente desejados para a operação do circuito. O transistor PNP, que funciona como fonte de corrente, é chamado injetor.

Vamos analisar o funcionamento de uma porta I^2L quando submetida a duas entradas diferentes. Para isso, usaremos uma chave S_1 para aterrinar ou deixar flutuando a entrada. A carga será outra porta I^2L , como mostra a figura 1.6.

a) Nível lógico "1" na entrada (S_1 aberta).

Com a chave S_1 aberta, toda a corrente de coletor I_{C1} flui para a base de Q_1 , ou seja, $I_{BQ1} = I_{C1}$. Com isso, o transistor Q_1 satura e a tensão de saída V_S é dada pelo VCE de saturação do transistor Q_1 . Vemos também que a corrente de coletor de Q_1 é a

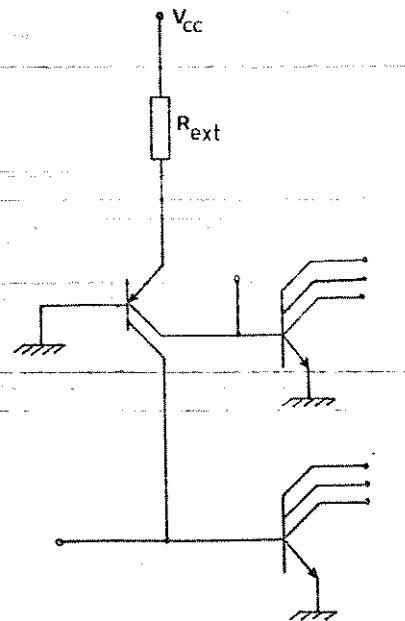


Figura 1.5 - Estrutura I^2L

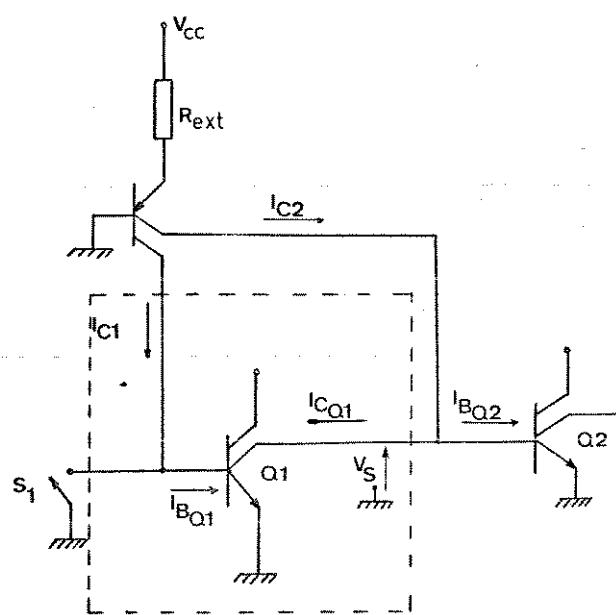


Figura 1.c

corrente I_{C2} do transistor PNP, ou seja, $I_{CQ1} \approx I_{C2}$. Como consequência, o transistor Q2 entra na região de corte, pois $I_{BQ2} \approx 0$. Para a determinação do ponto de operação, basta encontrar o ponto onde $V_{CB_{PNP}} = V_{CE_{Q1}}$. Como o transistor Q1 está saturado, temos $V_S = V_{CB_{PNP}} = V_{CE_{Q1}} \approx 50$ mV, como mostra a figura 1.7.

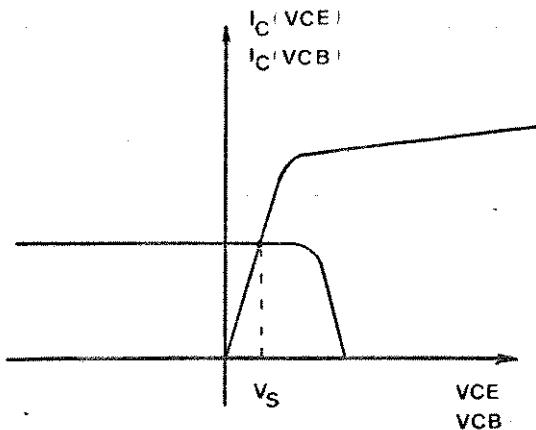


Figura 1.7 - Ponto de operação - nível lógico "0"

b) Nível lógico "0" na entrada (S_1 fechada)

Com a chave S_1 fechada, a corrente de coletor I_{C1} flui toda para terra. Isso faz com que a corrente de base de Q1 seja aproximadamente zero ($I_{BQ1} \approx 0$). Sob essa condição, o transistor Q1 fica na região de corte e toda a corrente I_{C2} é injetada na base do transistor Q2 ($I_{BQ2} \approx I_{C2}$). O ponto de operação é dado por $V_S = V_{BE_{Q2}} = V_{CB_{PNP}}$. Na figura 1.8 temos as curvas $I_{BQ2} \times V_{BE_{Q2}}$ e $I_{C1} \times V_{CB_{PNP}}$. O ponto de operação é dado por $V_S \approx 600$ mV.

Temos, portanto, uma porta lógica I^2_L que realiza a função de "INVERSOR" e tem níveis lógicos alto e baixo aproximadamente iguais a 600 mV e 50 mV, respectivamente.

Para obter a função lógica "E" (AND) em I^2_L , basta conectar os coletores de dois ou mais transistores, como está indicado por meio de linhas tracejadas, na figura 1.9.

A análise deste circuito é trivial: Sempre que um dos transistores estiver na saturação, o outro terá seu coletor no mesmo potencial, fazendo com que a tensão na saída seja dada pelo $V_{CE_{SAT}}$ do transistor, que corresponde ao nível lógico baixo. Temos, dessa forma, uma porta "E": um circuito lógico cuja saída é baixa sempre que ao menos uma das entradas seja baixa.

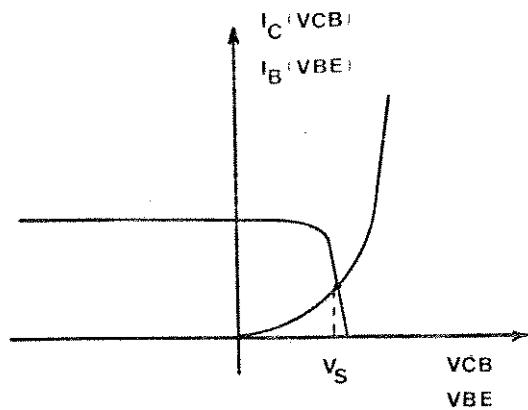


Figura 1.8 - Ponto de operação - nível lógico "1"

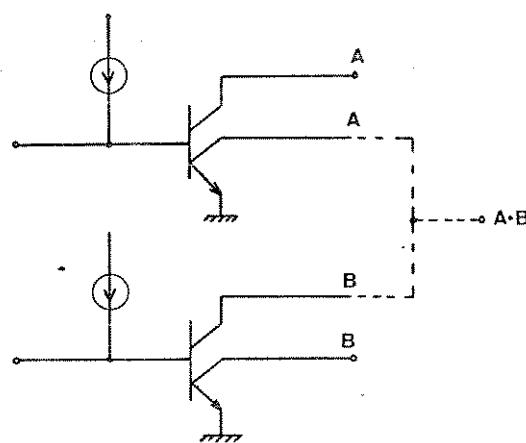


Figura 1.9 - Realização da função lógica "E"

Podemos desenvolver qualquer projeto de circuitos lógicos a partir das estruturas apresentadas, pois, para a implementação de qualquer função lógica, são suficientes as portas "E" e "INVERSOR" [2].

1.2. Tecnologias Convencionais de Confecção de Circuitos I²L

Como vimos na seção 1.1, uma estrutura DCTL com vários transistores e resistores é reduzida a um único par de transistores complementares em I²L: um transistor PNP multi-coletor, que opera como fonte de corrente, e um transistor NPN multi-coletor, que funciona como inversor. Essas modificações já seriam suficientes para tornar os circuitos I²L extremamente compactos. No que se refere à altíssima compactação obtida em I²L, porém, o fator mais importante é o fato de que a base e o coletor do transistor PNP são comuns ao emissor e à base do transistor NPN, respectivamente. Dessa forma, a porta I²L completa ocupa o espaço praticamente de apenas um transistor multi-coletor, já que o transistor PNP (que é lateral) está "fundido" (merged) na estrutura. Na figura 1.10a temos uma vista em corte de uma estrutura I²L e, na figura 1.10b, o circuito elétrico equivalente.

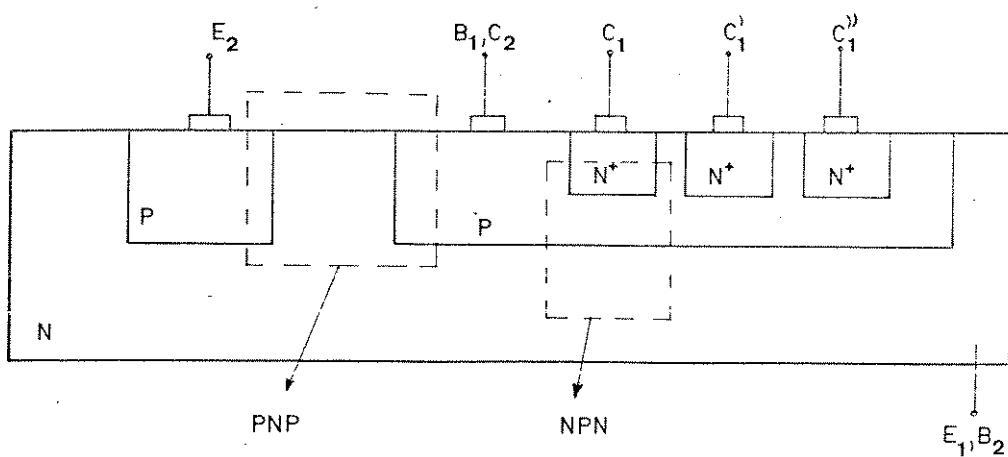


Figura 1.10a - Vista em corte de uma porta I²L

Entretanto, na confecção de circuitos I²L é normalmente usada uma estrutura com "isolação" (ou "anéis de guarda"), tal como a apresentada na figura 1.11.

Nessa estrutura é usada uma difusão N⁺ para isolar uma porta da outra, anu-

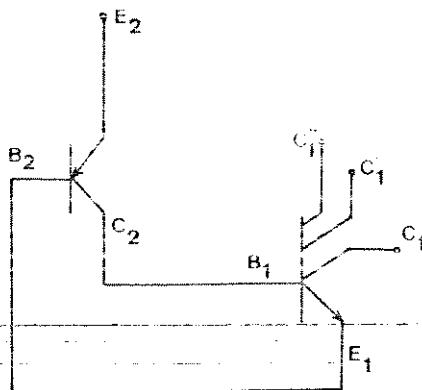


Figura 1.10.b - Circuito elétrico equivalente da estrutura da figura 1.10a

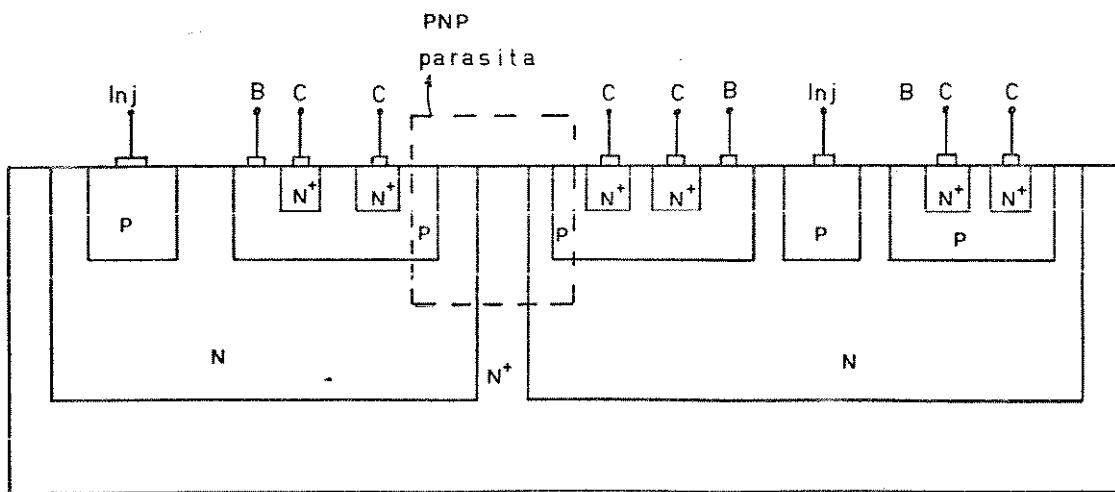


Figura 1.11 - Estrutura I^2L com anéis de guarda N^+

lando, dessa forma, o transistor PNP lateral parasita que aparece entre duas portas adjacentes. Além disso, os anéis de guarda melhoram o desempenho dos transistores NPN verticais, aumentando o seu ganho reverso de corrente [3]. São necessárias apenas 5 máscaras para a confecção de circuitos I^2L com essa estrutura, partindo-se de um substrato N^+ com camada epitaxial tipo N:

- 1 - difusão N^+ - anéis de guarda.
- 2 - difusão P - injetores e bases dos NPN.
- 3 - difusão N^+ - coletores dos NPN.
- 4 - abertura de contato.
- 5 - metalização.

No entanto, esse tipo de estrutura não permite a confecção de circuitos ana
lógicos na mesma pastilha, já que todos os coletores dos transistores dos circuitos analógicos (emissores dos transistores I^2L) estariam aterrados. Para que se possa utilizar toda a potencialidade das estruturas I^2L (ou seja, torná-la compatível com circuitos analógicos), deve-se usar uma estrutura semelhante à apresentada na figura 1.12, onde os circuitos I^2L e os lineares ocupam ilhas N, isoladasumas das outras por regiões tipo P. Para esse processo, que é o convencional na confecção de circuitos integrados bipolares, temos as seguintes etapas:

- Substrato: tipo P.
- 1 - difusão da camada enterrada N^+ .
- 2 - crescimento da camada epitaxial tipo N.
- 3 - difusão P^+ para definição das ilhas N.
- 4 - difusão dos anéis de guarda N^+ .
- 5 - difusão P para formação dos injetores e bases dos transistores NPN (dos circuitos I^2L e analógicos).
- 6 - difusão N^+ para formar os coletores dos transistores I^2L e os emissores dos transistores dos circuitos analógicos.
- 7 - Abertura de contatos.
- 8 - Metalização.

Esse processo, no entanto, apresenta algumas deficiências que serão discutidas no capítulo 2.

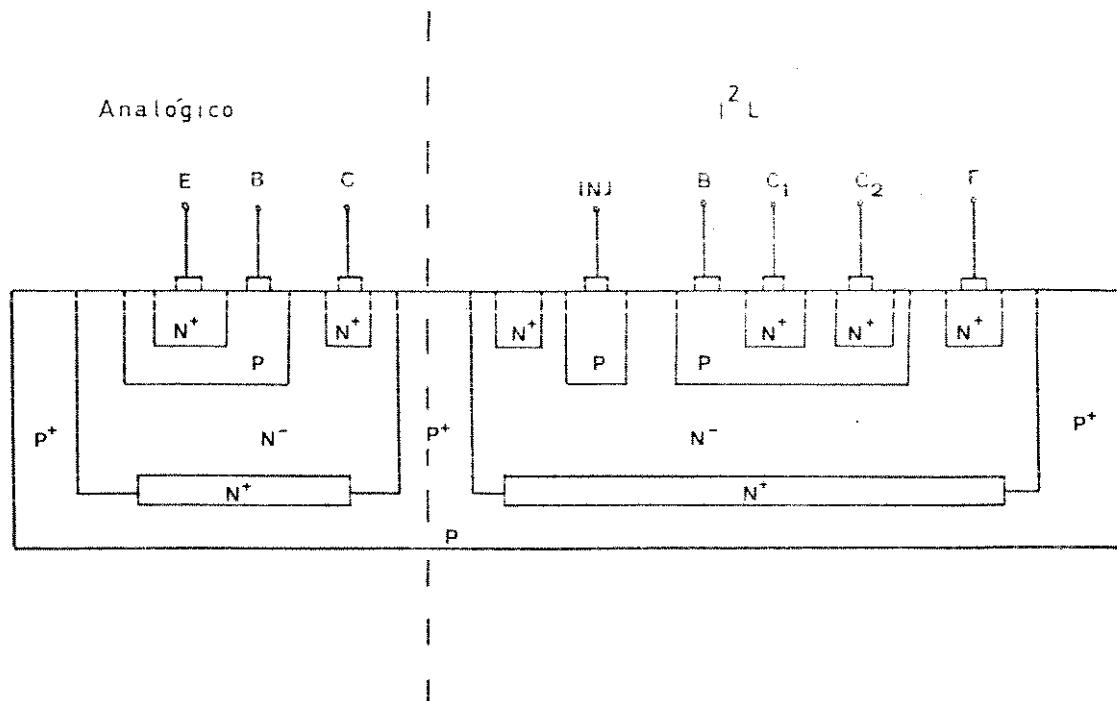


Figura 1.12 - I^2L compatível com analógico

1.3. Geometria das Portas I^2L

A escolha da geometria a ser utilizada na construção de uma porta I^2L é um fator extremamente importante, pois alguns dos principais parâmetros, como tempo de atraso por porta, compactação e consumo de potência, são fortemente dependentes da geometria do circuito. A seguir apresentam-se algumas considerações sobre o desempenho de 3 tipos de geometria muito utilizadas em circuitos I^2L .

A figura 1.13 mostra um transistor multi-coletor perpendicular à fita da difusão de injetor. Nesse caso, o tempo de chaveamento do coletor C_3 será maior que o do coletor C_2 que, por sua vez, será maior que o de C_1 . Isso se deve à diminuição da densidade de corrente na base de C_1 para C_3 , já que as lacunas injetadas na base encontram resistências diferentes, proporcionais às distâncias do injetor até os coletores [4], [5].

Para correntes altas, a diferença de velocidade de chaveamento entre o coletor mais próximo e o mais afastado chega a ser duas vezes e meia [4]. Para melhorar esses atrasos, podemos mudar o "lay-out" do circuito e usar, por exemplo, os circuitos das figuras 1.14 e 1.15.

Na figura 1.14 as distâncias dos coletores C_1 e C_2 ao injetor são as meno-

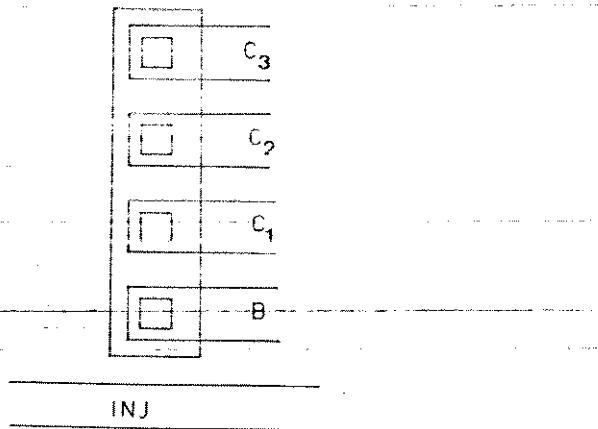


Figura 1.13 - Estrutura I^2L perpendicular

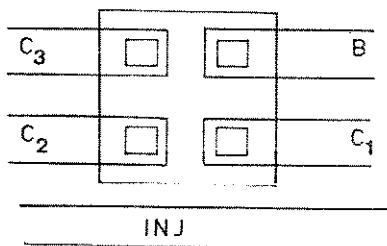


Figura 1.14 - Estrutura I^2L mista

res possíveis, enquanto o coletor C_3 fica mais afastado. Logo, os tempos de atraso são menores para C_1 e C_2 do que para C_3 .

A configuração que apresenta o menor tempo de atraso para todos os coletores é a apresentada na figura 1.15. Nesse caso, as distâncias entre a linha de injetor e os coletores são as menores possíveis e iguais. Logo, os 3 coletores devem chavear

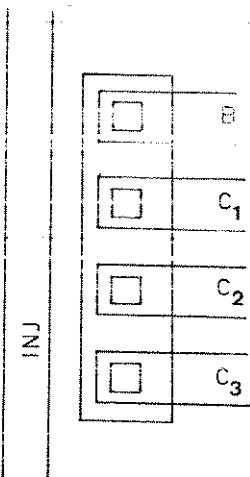


Figura 1.15 - Estrutura I^2L paralela

com a mesma velocidade.

Acontece que, associado a essas formas de "lay-out", temos um outro fator muito importante: a compactação. A compactação é muito maior para a estrutura perpendicular, ou seja: compactação e velocidade são inversamente proporcionais. Portanto, ao se projectar um circuito I^2L , é necessário fazer um compromisso entre a dimensão da pas
tilha e a máxima freqüência de operação do circuito.

A estrutura da figura 1.12, porém, tem tido preferência nos projetos de circuitos I^2L , pois para baixos níveis de corrente, a diferença de velocidade de chaveamento entre o coletor mais próximo e o mais afastado é muito pequena [4]. Além disso, essa estrutura permite um alto grau de compactação, maior facilidade de interconexão das portas na metalização e, ainda, uso dos atrasos para a obtenção de alguns blocos lógicos como "flip-flops" [6].

Temos também um ganho reverso de corrente (β_{up}) nos transistores I^2L maior para a estrutura perpendicular do que para a paralela [7]. Como uma das dificuldades na confecção de circuitos I^2L é obter um valor alto de β_{up} , temos mais um argumento forte para a utilização da estrutura perpendicular.

CAPÍTULO 2

TECNOLOGIA DE CONFECÇÃO

2.1. O Processo de Dupla Difusão de Base

Como pode ser visto na figura 2.1, onde temos uma porta I^2L e seu esquema elétrico equivalente, o transistor NPN vertical trabalha no modo reverso, já que a reião mais dopada forma o coletor e a epitaxia forma o emissor. Isso faz com que apareça uma dificuldade tecnológica na confecção de circuitos I^2L , pois devemos ter o β_{up} por coletor maior do que 1.

Para que os transistores I^2L tenham um bom desempenho, dois requisitos são indispensáveis:

- pequena dopagem integral da base (nº de Gummel baixo) [8].
- camada epitaxial bem dopada [9], [10].

Essas duas condições praticamente asseguram a obtenção de um valor de β_{up} suficiente para a operação adequada do circuito. Acontece que, junto com β_{up} alto, temos associada a esses dispositivos uma tensão de ruptura VCEO muito baixa (da ordem de 5 volts), devido ao fenômeno de "punch-through". No caso de termos apenas circuitos I^2L , não haverá problemas, pois com $VCEO > 0,7$ volts os circuitos irão funcionar perfeitamente [11].

A confecção de circuitos analógicos com essas tensões de ruptura é, porém, impraticável. Uma das soluções encontradas para a confecção de circuitos I^2L compatíveis com analógicos de alta tensão de ruptura, é utilizar perfis de dopagem diferentes para os dispositivos I^2L e analógicos variando, dessa forma, a carga na base dos transistores. Assim, na mesma pastilha, construímos transistores com carga na base pequena para os dispositivos I^2L (obtendo-se alto valor de β_{up} e baixo VCEO) e, para os dispositivos analógicos, transistores com carga na base maior, de forma a obter uma tensão VCEO mais alta.

O processo a ser usado é semelhante ao apresentado por Blossfeld [12], com a diferença de não se usar implantação iônica. A carga ativa na base dos transistores I^2L é reduzida por meio de uma difusão de base mais rasa do que a utilizada para os transistores da parte analógica, como indicado na figura 2.2.

O processo, semelhante ao utilizado para a obtenção de transistores super- β em circuitos integrados bipolares, apresenta ainda a vantagem de possibilitar a confecção de dois tipos de transistores na parte analógica: um de alto ganho e baixa tensão de ruptura (transistores de base rasa, operados no modo direto) e outro de alta tensão de ruptura, mas ganho relativamente baixo.

A seqüência de confecção para o processo é apresentada na tabela 2.1.

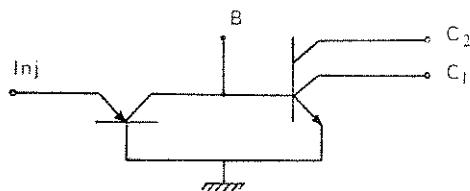
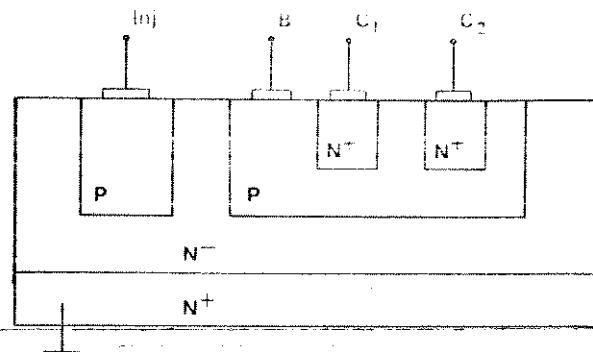


Figura 2.1 - Na porta I^2L , os transistores NPN trabalham no modo reverso.

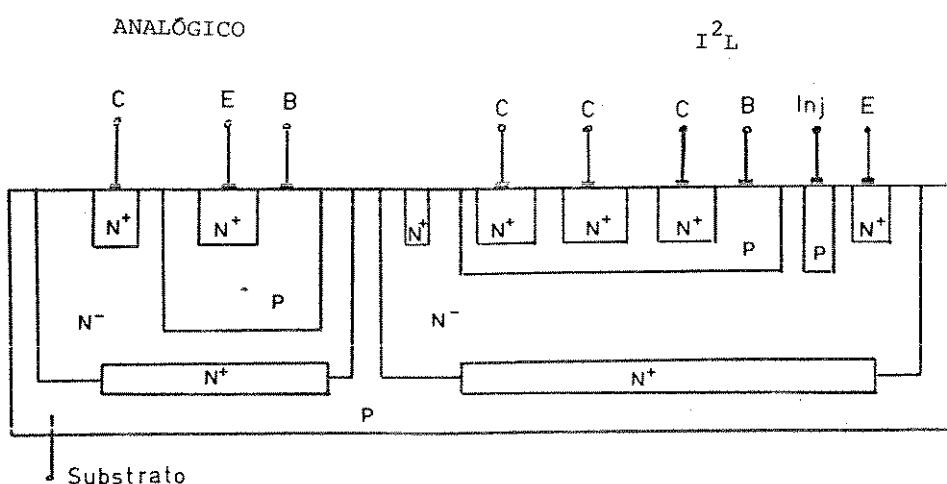


Figura 2.2 Estrutura proposta para a combinação I^2L - Analógico.

TABELA 2.1

Substrato: tipo P.

1. Camada enterrada N⁺.
2. Crescimento epitaxial N.
3. Difusão de isolação P⁺.
4. Difusão dos anéis de guarda N⁺.
5. Deposição tipo P (base da parte analógica).
6. Penetração parcial da base da parte analógica.
7. Deposição tipo P (base das portas I²L).
8. Penetração das duas bases.
9. Difusão de emissor.
10. Abertura de contatos.
11. Metalização.

Para a execução do processo é necessária, portanto, a inclusão de apenas uma máscara, em relação ao processo convencional de confecção de circuitos I²L e analógicos na mesma pastilha.

2.2. Perfis de Dopagem

Os perfis de dopagem serão calculados visando-se a obtenção das seguintes características:

- i) β_{up} por coletor igual a 15 para uma estrutura I²L com "fan-out" igual a 6, no pior caso.
- ii) Tensões de ruptura VCBO = 60V e VCEO = 25V para os transistores da parte analógica.

2.2.1. Transistores de Alta Tensão de Ruptura

Para que a junção base-coletor apresente uma tensão de ruptura VCBO = 60V, no caso de junções abruptas a concentração de impurezas do lado menos dopado (no caso a camada epitaxial) não deve ultrapassar $9 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ [13]. Lembrando que a dopagem da camada epitaxial deve ser a mais alta possível (para melhorar o desempenho dos transistores I²L) e considerando uma margem de segurança em relação à tensão de ruptura, usaremos lâminas com concentração de $N_{epi} = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ na camada epitaxial.

Numa junção confeccionada com a tecnologia planar, em que a difusão tem forma semelhante à apresentada na figura 2.3, as tensões de ruptura são menores do que no caso de uma junção plana infinita. Como uma junção com raio de curvatura Rj tem VCBO menor do que o VCBO de uma junção plana infinita, usando o método de cálculo proposto na ref. [14], para $N_{epi} = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ e VCBO = 60V, obtemos $X_{JB} \approx 3,2 \mu\text{m}$ e VCBO de junção plana infinita igual a 110V. Usaremos, dando uma margem de segurança, $X_{JB} = 3,5 \mu\text{m}$.

Com o valor de X_{JB} , podemos determinar qual a largura mínima de camada epi

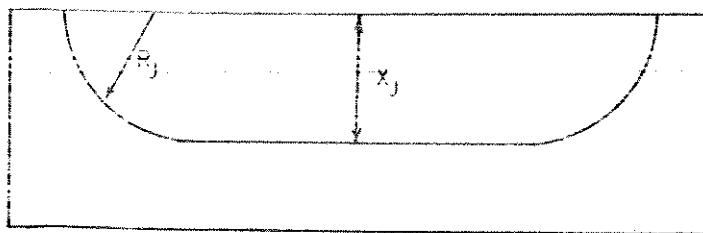


Figura 2.3 - Junção confeccionada com a tecnologia planar.

taxial, para que a junção base-coletor, sob alta polarização reversa, não encoste na camada enterrada ("reach-through").

De acordo com a referência [13] temos

$$X_{JC} - X_{JB} = \left[\frac{2 \cdot c_o \cdot \epsilon_r \cdot V_{CBO}}{q \cdot N_{epi}} \right]^{1/2} \quad (1)$$

Para $V_{CBO} = 60V$ e $N_{epi} = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ encontramos $X_{JC} - X_{JB} \approx 4 \mu\text{m}$.

A junção base-coletor deve estar, portanto, a pelo menos $4 \mu\text{m}$ da camada enterrada. Como o valor de X_{JB} já foi determinado ($X_{JB} = 3,5 \mu\text{m}$), a espessura mínima da camada epitaxial deve ser $w_{epi} = 7,5 \mu\text{m}$. Como margem de segurança, usaremos $w_{epi} = 9 \mu\text{m}$.

- Perfil de Base.

Um valor usual para a resistência por quadrado das regiões difundidas de base em circuitos integrados bipolares analógicos é $R_{SB} = 120 \Omega/\square$. A resistividade média é dada por:

$$\rho_m = R_{SB} \cdot X_{JB} \quad (2)$$

$$\rho_m = 0,042 \Omega \cdot \text{cm} \quad \therefore \quad \sigma_m = 23,8 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$$

Dado o valor de σ_m , utilizando as curvas de Irvin [15] para $X/X_J = 0$ e $N_{epi} = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, temos $C_S \approx 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Ou seja, a concentração superficial de impurezas na base que fornece uma resistência de folha $R_{SB} = 120 \Omega/\square$, para uma profundidade de junção $X_{JB} = 3,5 \mu\text{m}$, é $C_S \approx 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

Com a concentração superficial, a profundidade da junção da base, e admitindo um perfil gaussiano para a distribuição de impurezas [16], temos:

$$N_a(x) = C_S \exp \left(- \frac{x^2}{4 \cdot D_p t_p} \right) \quad (3)$$

onde D_p = coeficiente de difusão

t_p = tempo de penetração

Com a utilização desse modelo, estamos admitindo várias simplificações, pois além do perfil gaussiano ser apenas uma aproximação, estamos desprezando uma série de efeitos como variação do coeficiente de difusão com a dopagem e coeficiente de segregação do dopante.

Entretanto, como são realizados ajustes experimentais (através de dados obtidos no processamento das lâminas), o modelo, apesar das limitações, fornece resultados bons para uma primeira aproximação.

A junção irá ocorrer onde $N_a(X) = N_{epi}$. Logo

$$D_p t_p = \frac{x_{JB}^2}{4 \cdot \ln \frac{C_S}{N_{epi}}} \quad (4)$$

Com os valores de x_{JB} , C_S e N_{epi} já conhecidos, temos $D_p t_p = 4,43 \times 10^{-9} \text{ cm}^2$.

Dado o valor do produto $D_p t_p$ e conhecendo-se o valor do coeficiente de difusão do Boro D_p , que consideraremos independente da concentração de impurezas, podemos determinar o tempo necessário para realizar a penetração.

Ao escolhermos a temperatura para a difusão, levamos em consideração os seguintes fatores:

- a temperatura deve estar dentro da faixa permitida pelo forno.
- demos preferência a temperaturas para as quais os perfis do forno já estão calibrados [17].
- devemos escolher temperaturas de forma a manter os tempos de difusão dentro de limites razoáveis, evitando tempos excessivamente longos ou curtos.

O forno de difusão de boro tem um perfil de temperatura calibrado em 1150°C . Para essa temperatura, de acordo com a referência [18], o coeficiente de difu-

são do boro é $D_p \approx 4,3 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{min}$.

Portanto, a partir do valor de $D_p t_p$, temos $t_p = 103$ minutos. Logo, a penetração de base será realizada a 1150°C durante 103 minutos. O perfil resultante, representado na figura 2.4, é dado por:

$$N(x) = 5 \times 10^{18} \exp \left(-\frac{x^2}{1,77 \times 10^{-8}} \right) \quad (\text{cm}^{-3}) \quad (5)$$

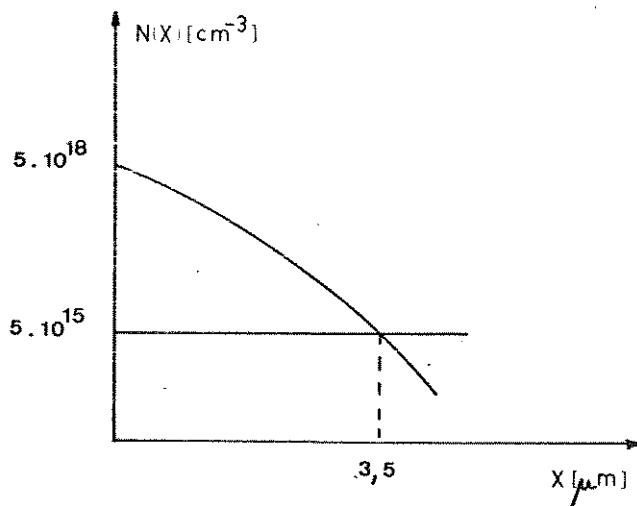


Figura 2.4. Perfil de impurezas na base

Para realizar a penetração de boro, precisamos depositar inicialmente uma quantidade na superfície, de modo que, ao final da penetração, tenhamos uma concentração superficial igual à prevista, ou seja, $C_S = 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

De acordo com a referência [13], a concentração superficial é dada por:

$$C_S = \frac{Q}{[\pi \cdot D_p t_p]^{1/2}} \quad (6)$$

Logo, $Q = 5,89 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$.

Porém, devido ao efeito de redistribuição da carga depositada [16], temos que depositar uma quantidade maior de boro, já que parte deste irá segregar para o óxido. Admitindo-se um fator de 75% na redistribuição [19], temos que depositar $Q = 2,35 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, onde a carga depositada é dada por:

$$Q = \frac{2 \cdot N_o}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{D_d t_d} \quad (7)$$

onde:

N_o = solubilidade sólida do dopante

D_d = coeficiente de difusão do dopante

t_d = tempo de deposição

Do mesmo modo que foi feito para a penetração, podemos determinar o tempo e a temperatura necessários para depositar essa carga.

$$\sqrt{D_d t_d} = \frac{Q \cdot \sqrt{\pi}}{2 \cdot N_o} \quad (8)$$

O valor da solubilidade sólida do boro, para a temperatura de 960°C (onde temos um perfil de temperatura calibrado), é $N_o = 4,5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. Temos portanto,

$$\sqrt{D_d t_d} = 4,63 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

Nessa temperatura, o valor do coeficiente de difusão do boro é $D_d = 4,0 \times 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{min}$. Logo, $t_d = 53$ minutos.

Dessa forma, está fixado o processo para a confecção da base dos transistores de alta tensão de ruptura. A sequência a ser executada é:

1. Deposição de Boro

Temperatura: 960°C

Tempo: 53 minutos

2. Penetração de Boro

Penetração: 1150°C

Tempo: 103 minutos

- Perfil de Emissor

Na determinação do perfil de emissor, devemos calcular qual a máxima pro-

fundidade de junção base-emissor (β_{BE}) a ser obtida, sem que ocorra "punch-through" antes dos 60V desejados para V_{DD}:

A condição necessária para isso é que a soma dos átomos dopantes ionizados da base e da camada epitaxial seja zero [20]. Admitindo um perfil função complementar de erros (erfc) para o emissor temos:

$$\int_{x_{JB}}^x \left[N_a(x) + N_{dc} \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{D_f t_f}} - N_{epi} \right] dx \geq \underbrace{N_{epi}(x_{JC} - x_{JB})}_{Q_{epi}} \quad (9)$$

Usando os valores de W_{epi} , X_{JB} e N_{epi} já determinados, temos $Q_{\text{epi}} = 2,75 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$.

Como não estamos levando em consideração as regiões de depleção na base e não sendo incomum a variação de um fator de 2 na carga ativa da base em circuitos integrados bipolares, usaremos, como margem de segurança, uma solução de (9) com Ω_{epi} multiplicado por 2.

Sabemos que:

$$N_d(x) = N_{do} \operatorname{erfc} \left[\frac{x}{2\sqrt{D_f t_f}} \right] \quad (10)$$

$$Nd(X_{JE}) = Na(X_{JE}) \quad (11)$$

Logo

$$N_d(x) = \frac{N_{d0} \left(\frac{x}{X_{JE}} \right)}{\operatorname{erfc} \left[\frac{x}{2\sqrt{D_f t_f}} \right]} \quad (12)$$

A solução de (9) é obtida numericamente através de algumas iterações, usando a equação (12). Não se deve esquecer que o valor de N_{do} deve ficar abaixo da solubilidade sólida do fósforo, $N_{\text{do}} = 1,1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$. Uma solução que fornece $N_{\text{do}} = 8,5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, é dada por.

$$x_{TE} = 2.2 \text{ } \mu\text{m.}$$

$$D_f t_f = 0,192 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

O perfil de emissor fica, portanto, determinado:

$$N_d(x) = 8,5 \times 10^{20} \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{0,192 \times 10^{-8}}} \text{ (cm}^{-3}\text{)} \quad (13)$$

No caso de uma função de erro complementar, a relação entre os comprimentos de difusão da deposição e da penetração pode ser aproximada, de acordo com a referência [21], por:

$$\frac{\sqrt{D_d t_d}}{\sqrt{D_p t_p}} = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} \frac{N_{do}}{N_o} \right) \quad (14)$$

onde

$\sqrt{D_d t_d}$ = Comprimento de difusão da deposição

$\sqrt{D_p t_p}$ = Comprimento de difusão da penetração

N_o = Solubilidade sólida do dopante

N_{do} = Concentração superficial após a penetração

De acordo com a mesma referência podemos aproximar

$$D_f t_f = D_d t_d + D_p t_p \quad (15)$$

Com N_o , N_{do} e $D_f t_f$ conhecidos, podemos determinar

$$D_d t_d = 0,181 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$$

$$D_p t_p = 0,011 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$$

Usando 1050°C na deposição e 900°C na penetração temos:

$$t_d = 35 \text{ minutos}$$

$$t_p = 40 \text{ minutos}$$

Os perfis de base e emissor são apresentados na figura 2.5.

No entanto, o perfil de átomos eletricamente ativos não é o mesmo, já que a solubilidade elétrica do fósforo é bem menor do que $8,5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. De acordo com a referência [22], a solubilidade elétrica do fósforo é $N_{do} \approx 3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, sendo este valor atingido durante a deposição a 1050°C . O perfil de fósforo eletricamente ativo é apresentado na figura 2.6.

Podemos determinar x^* :

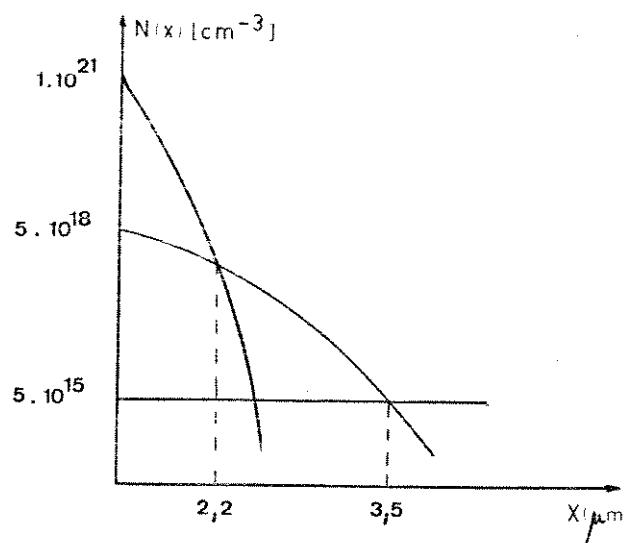


Figura 2.5 - Perfis de dopagem calculados.

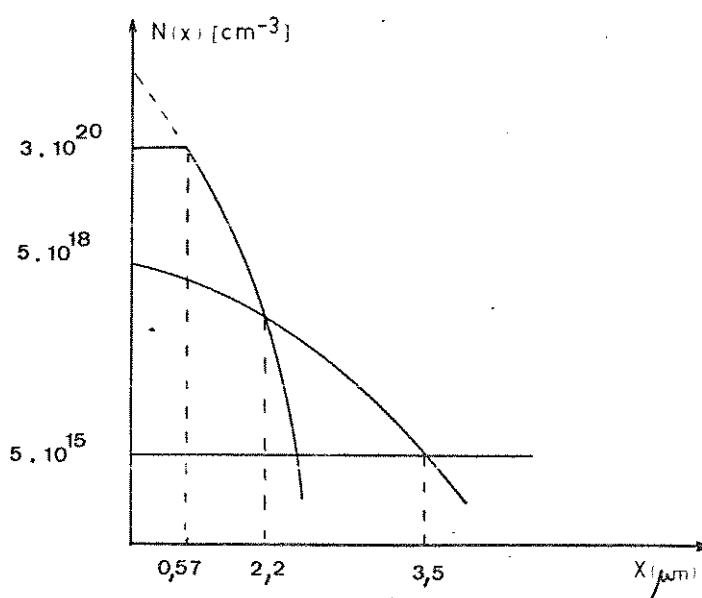


Figura 2.6 - Perfil de impurezas eletricamente ativas

$$3 \times 10^{20} = 8,5 \times 10^{20} \operatorname{erfc} \frac{x^*}{2\sqrt{0,192 \times 10^{-8}}} \quad (16)$$

$$\therefore x^* = 0,57 \text{ } \mu\text{m.}$$

Conhecidos os perfis de base e de emissor, podemos calcular a eficiência de injeção da junção base-emissor.

A densidade de corrente de lacunas injetadas no emissor, de acordo com a referência [23], é dada por:

$$J_p = q \int_0^{x_{JE}} \frac{D_p(x) n_{iE}^2(x)}{N_d(x) - N_a(x)} dx \cdot \left[\exp \left[\frac{qV_{BE}}{kT} \right] - 1 \right] \quad (17)$$

A densidade de corrente de elétrons injetada na base, de acordo com a mesma referência, é dada por

$$J_e = q \int_{x_{JE}}^{x_{JB}} \frac{D_n(x) n_{iB}^2(x)}{N_a(x) - N_d(x)} dx \cdot \left[\exp \left[\frac{qV_{BE}}{kT} \right] - 1 \right] \quad (18)$$

A eficiência de injeção é dada por

$$\gamma_o = \frac{J_e}{J_p} \quad (19)$$

$$\gamma_o = \frac{\int_{x_{JE}}^{x_{JB}} \frac{D_n(x) n_{iB}^2(x)}{N_a(x) - N_d(x)} dx}{\int_0^{x_{JE}} \frac{D_p(x) n_{iE}^2(x)}{N_d(x) - N_a(x)} dx} \quad (20)$$

Admitindo valores médios para D_n e D_p , temos

$$\gamma_0 = \frac{\frac{Dn}{Dp}}{\frac{\int_{X_{JE}}^{X_{JB}} \frac{n_{iB}^2(x)}{Na(x) - Nd(x)} dx}{\int_0^{X_{JE}} \frac{n_{iE}^2(x)}{Nd(x) - Na(x)} dx}} \quad (21)$$

Como a variação de $n_{iB}^2(x)$ é desprezível, podemos simplificar a expressão da eficiência de injeção

$$\gamma_0 = \frac{\frac{\int_0^{X_{JE}} \frac{Nd(x) - Na(x)}{n_{iE}^2(x)} dx}{\frac{1}{n_{iB}^2} \int_{X_{JE}}^{X_{JB}} Na(x) - Nd(x) dx}} \quad (22)$$

A integral que aparece no numerador é chamada "perfil equivalente de emissor" e é muito importante na determinação do ganho de transistores bipolares, quando a dopagem de emissor é suficientemente alta para provocar degenerescência [24].

Usando as expressões derivadas por Bailbé (ref. [25]) para as variações de n_i^2 em função da dopagem, foi feito um programa que calcula o perfil equivalente de emissor (Apêndice A). O resultado nos fornece

$$\int_0^{X_{JE}} \frac{Nd(x) - Na(x)}{n_{iE}^2(x)} dx = 2.12 \times 10^{-6}$$

Desprezando as variações de $n_{iB}^2(x)$, temos

$$\frac{1}{n_{iB}^2} \int_{X_{JE}}^{X_{JB}} [Na(x) - Nd(x)] dx = 3,37 \times 10^{-8}$$

Usando a equação (18), temos $\gamma_0 \approx 190$. Conhecido γ_0 , podemos calcular β_0 , o ganho de corrente em emissor comum, sem levar em conta o fator de transporte. Supondo que toda injeção na região lateral do emissor é perdida, temos

$$\beta_0 = \gamma_0 \frac{A_{ativa\ de\ emissor}}{A_{emissor}} \quad (23)$$

Para o transistor de teste temos

$$A_{emissor} = 1164 \mu m^2$$

$$A_{ativa\ de\ emissor} = 900 \mu m^2$$

emissor

Logo, $\beta_0 = 145$

Consideramos a área ativa do emissor a projeção da abertura de difusão de emissor, na qual supõe-se corrente uniforme.

O ganho de corrente β_F pode ser determinado usando-se a relação

$$\frac{1}{\beta_F} = \frac{1}{\beta_0} + \frac{W_B^2}{4L_n^2} \quad (24)$$

onde

W_B = largura de base

$L_n = \sqrt{D_n \cdot t_n}$ = comprimento de difusão dos elétrons na base.

Devemos notar que estamos usando uma aproximação, já que a expressão só é válida para um perfil de base gradual [13].

Com $D_n = 9 \text{ cm}^2/\text{s}$ e $t_n = 1\mu\text{s}$, temos $\beta_F = 135$.

Com o valor de β_F , podemos calcular a tensão de ruptura VCEO,

$$VCEO = \frac{-V_{CBO}}{\beta_F^{1/n}} \quad (25)$$

com $n=4$ para transistores NPN de silício.

Entretanto, de acordo com a referência [16], a tensão VCBO que deve ser utilizada nessa equação é a de junção plana infinita, pois os fenômenos de avalanche são muito mais importantes nesta região. Usando os valores já calculados para VCBO e β_F temos

$$V_{CEO} \approx \frac{110}{1/4} = 275 \text{ V}$$

(135)

$V_{CEO} \approx 32\text{V}$.

2.2.2. Transistores I^2L

A determinação do perfil a ser usado para os transistores I^2L tem como objetivo a otimização dos transistores de uma estrutura como a apresentada na figura 2.7.

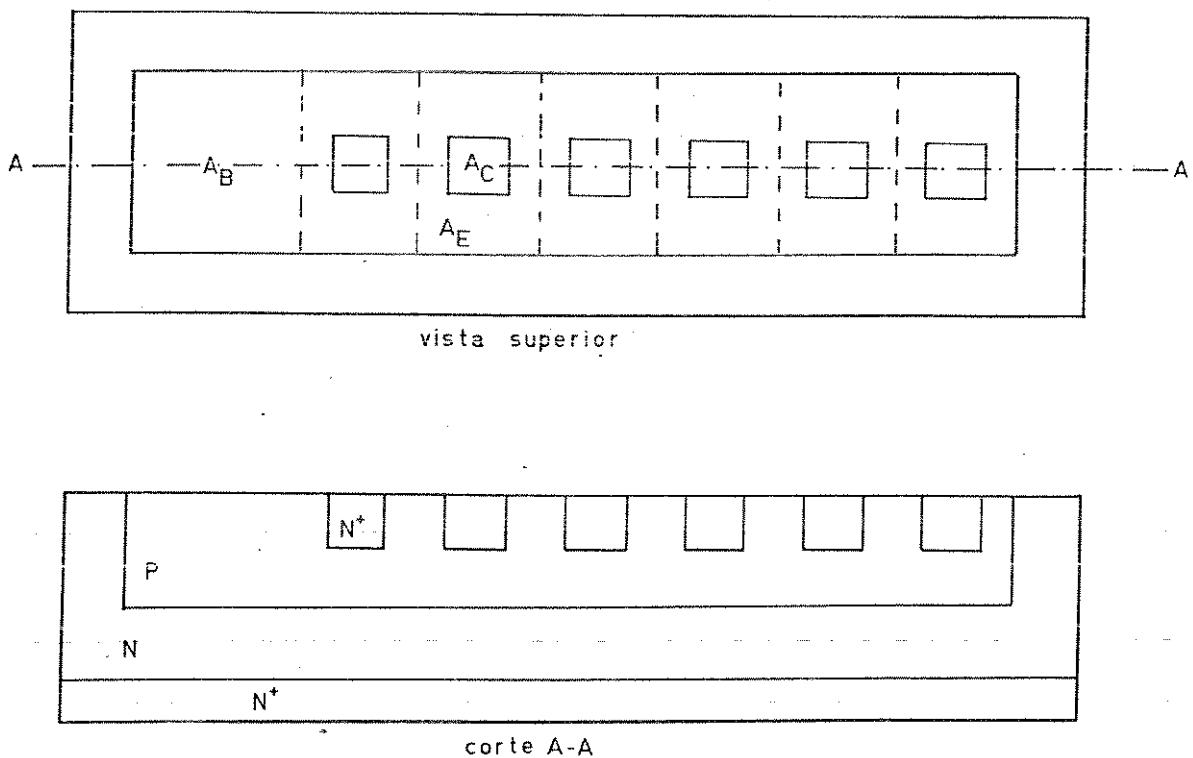


Figura 2.7 - Estrutura I^2L com 6 coletores

Desprezando os efeitos de recombinação na superfície, defocalização e alta injeção, vamos determinar, de forma aproximada, o ganho de uma estrutura com F coletores.

res, semelhante à da figura 2.7 [26].

- Corrente de base intrínseca (lacunas injetadas no emissor).

$$I_B^* = F \cdot A_C \cdot q \cdot \left[\frac{1}{\int_0^{W_{\text{epi}}} \frac{\overline{Dp}_{\text{epi}}(x)}{n_{i\text{epi}}^2(x) \cdot \overline{Dp}_{\text{epi}}} dx + \int_{W_{\text{epi}}}^{L_{N+}} \frac{\overline{Dp}_{\text{CE}}(x)}{n_{i\text{CE}}^2(x) \cdot \overline{Dp}_{\text{CE}}} dx} \right] \cdot \left[e^{\frac{qV_{\text{B}}}{kT}} - 1 \right] \quad (26)$$

onde

W_{epi} = espessura da camada epitaxial.

$n_{i\text{epi}}^2$ = valor de n_i^2 na camada epitaxial.

$n_{i\text{CE}}^2$ = valor de n_i^2 na camada enterrada.

L_{N+} = comprimento de difusão das lacunas na camada enterrada
($L_{N+} = \sqrt{D_{N+} \tau_{N+}}$)

$\overline{Dp}_{\text{epi}}$ = coeficiente de difusão média das lacunas na camada enterrada.

$Nd_{\text{epi}}(x)$ = perfil de dopagem na camada epitaxial.

$Nd_{\text{CE}}(x)$ = perfil de dopagem na camada enterrada.

- Corrente de base na região passiva de base (elétrons injetados na base passiva e lacunas injetadas no emissor).

$$I_{Bp} = F \cdot q \cdot (A_E - A_C) \cdot \left[\frac{\overline{Dn} n_{iB}^2}{\int_{\text{base passiva}}^{Na(x)dx} \frac{Na(x)dx}{n_{i\text{epi}}^2(x) \cdot \overline{Dp}_{\text{epi}}} + \int_0^{W_{\text{epi}}} \frac{Nd_{\text{epi}}(x) dx}{n_{i\text{epi}}^2(x) \cdot \overline{Dp}_{\text{epi}}} + \int_{W_{\text{epi}}}^{L_{N+}} \frac{Nd_{\text{CE}}(x) dx}{n_{i\text{CE}}^2(x) \cdot \overline{Dp}_{\text{CE}}} } \right] \cdot \left[e^{\frac{qV_{\text{B}}}{kT}} - 1 \right] \quad (27)$$

- Corrente de base devida à célula de contato de base (elétrons injetados na base e lacunas injetadas no emissor).

$$I_{Bb} = q \cdot A_E \left[\int_{\text{base passiva}}^{\infty} \frac{Dn}{Na(x)} n_{iB}^2 dx + \frac{1}{\int_0^{W_{\text{epi}}} \frac{Nd_{\text{epi}}(x)}{n_{i\text{epi}}^2(x) Dp_{\text{epi}}} dx + \int_{W_{\text{epi}}}^{L_N^+} \frac{Nd_{\text{CE}}(x)}{n_{i\text{epi}}^2(x) Dp_{\text{CE}}} dx} \right] \cdot \left[e^{\frac{qVBE}{KT}} - 1 \right] \quad (28)$$

A corrente de base total é:

$$I_{BT} = I_B + I_{Bp} + I_{Bb}$$

$$I_{BT} = q \cdot A_E \left[\int_{\text{base passiva}}^{\infty} \frac{Dn}{Na(x)} n_{iB}^2 dx \left[\frac{A_B}{A_E} + F \left[1 - \frac{A_C}{A_E} \right] \right] + \left[F + \frac{A_B}{A_E} \right] \cdot \frac{1}{\int_0^{W_{\text{epi}}} \frac{Nd_{\text{epi}}(x)}{n_{i\text{epi}}^2(x) Dp_{\text{epi}}} dx + \int_{W_{\text{epi}}}^{L_N^+} \frac{Nd_{\text{CE}}(x)}{n_{i\text{epi}}^2(x) Dp_{\text{CE}}} dx} \right] \cdot \left[e^{\frac{qVBE}{KT}} - 1 \right] \quad (29)$$

Como nos transistores I_L^2 a largura efetiva de base e a carga da base ativa são pequenas, o fator de transporte pode ser considerado aproximadamente igual a 1. Com isso, a corrente de coletor é dada por:

$$I_C = q \cdot A_C \frac{n_{iB}^2 Dn}{\int_{X_{JB}}^{X_{JE}} N(x) dx} \cdot \left[e^{\frac{qVBE}{KT}} - 1 \right] \quad (30)$$

O ganho dos transistores é definido como

$$\beta_{up} = \frac{I_C}{I_{BT}} \quad (31)$$

Logo, temos

$$\beta_{up} = \frac{\frac{A_C}{A_E}}{\int_{\text{base passiva}}^{\infty} \frac{Dn}{n_{iB}^2} \frac{Na(x) dx}{\int_{\text{base passiva}}^{\infty} \frac{Dn}{n_{iB}^2} Na(x) dx} \left[\frac{A_B}{A_E} + F \left(1 - \frac{A_C}{A_E} \right) \right] + \frac{F + \frac{A_B}{A_E}}{Q_N}} \quad (32)$$

onde

$$Q_N = \int_0^{W_{epi}} \frac{N_{d_{epi}}(x)}{n_{i_{epi}}^2(x) D_{p_{epi}}} dx + \int_{W_{epi}}^{L_{N^+}} \frac{N_{d_{CE}}(x)}{n_{i_{CE}}^2(x) D_{p_{CE}}} dx$$

Com a geometria da estrutura definida ($A_E = 2000 \mu\text{m}^2$; $A_C = 900 \mu\text{m}^2$; $A_B = 1750 \mu\text{m}^2$), podemos determinar uma relação entre as cargas ativa e passiva da base. Impondo-se $\beta_{up} = 15$, para uma carga na base passiva $\int Na(x) dx = 5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, obtemos

$$\int_{X_{JE}}^{X_{JB}} Na(x) dx \approx 1,8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$$

Usando a mesma concentração superficial da parte analógica, o perfil que fornece os resultados calculados é dado por:

$$Na(x) = 5 \times 10^{18} \exp \left[- \frac{x^2}{1,4 \times 10^{-8}} \right] (\text{cm}^{-3}) \quad (33)$$

Podemos determinar o tempo e a temperatura para a difusão da base I^2L . O comprimento de difusão, obtido da equação (33), é $\sqrt{D_p t_p} = 5,92 \times 10^{-5} \text{ cm}$.

Como essa difusão é realizada simultaneamente com a difusão da base analógica, o coeficiente de difusão do boro a 1150°C já foi determinado ($4,3 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{min.}$) e o tempo de penetração fica sendo:

$$t_p \approx 81 \text{ minutos.}$$

Na deposição, usando as equações (6), (7) e o mesmo fator de redistribuição de carga, temos:

$$\sqrt{D_d t_{d0}} = 3,9 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

Usando a mesma temperatura de deposição da base dos transistores da parte analógica temos $t_d = 38$ minutos.

- Difusão de Isolação N⁺

A difusão de isolação N⁺ é a primeira etapa do processo. A carga depositada é a mesma da difusão de emissor. Como a penetração ocorre durante todo o processo, após a deposição é feita uma pequena penetração, suficiente apenas para permitir o crescimento do óxido necessário para permitir a fotogravação da máscara de base.

O processo fica, então, totalmente determinado:

1. Deposição de Isolacão N⁺.

Tempo: 30 minutos

Temperatura: 1050°C

2. Penetracão de Isolacão N⁺

Tempo: 30 minutos

Temperatura: 900°C

3. Deposição de Base (analógica)

Tempo: 53 minutos

Temperatura: 960°C

4. Penetracão Parcial de Base (analógica)

Tempo: 33 minutos

Temperatura: 1150°C

5. Deposição de Base (I²L) (e penetração analógica)

Tempo: 33 minutos

Temperatura: 960°C

6. Penetração de Base (I²L e analógica)

Tempo: 81 minutos

Temperatura: 1150°C

7. Deposição de Emissor

Tempo: 35 minutos

Temperatura: 1050°C

8. Penetração de Emissor

Tempo: 40 minutos

Temperatura: 900°C

Devemos observar que, no cálculo do tempo de penetração das bases, não estamos levando em consideração as penetrações adicionais que ocorrem devido à execução das difusões de emissor e, no caso da base da porta analógica, também devido à deposição da base I²L. Como essas etapas são realizadas em temperaturas em que o coeficiente de difusão do boro é muito menor do que durante a penetração de base, o efeito dessas etapas sobre o perfil final de base é desprezível.

Conhecidos os perfis de dopagem, podemos calcular os parâmetros elétricos dos transistores PNP laterais (injetores) e também a influência destes sobre o ganho

da porta I^2L .

Para a estrutura apresentada na figura 2.8, a corrente de lacunas injetadas na base do transistor PNP lateral é dada por:

$$I_{po} = \frac{D_p \cdot q \left(X_{jB} L_i \right)^2 n_i^2}{W_{IB} N_{epi}} \cdot \left[e^{\frac{qVBE}{KT}} - 1 \right] \quad (34)$$

A corrente de lacunas injetada nas regiões do fundo e lateral é dada por:

$$I_{BO} = \frac{D_p q n_i^2 (A_f + A_{lat})}{\int_0^{W_{epi}} \frac{N_{d_{epi}}(x) dx}{n_{iepi}^2(x) D_p_{epi}} + \int_{W_{epi}}^{L_N} \frac{N_{d_{CE}}(x) dx}{n_{ice}^2(x) D_p_{CE}}} \cdot \left[e^{\frac{qVBE}{KT}} - 1 \right] \quad (35)$$

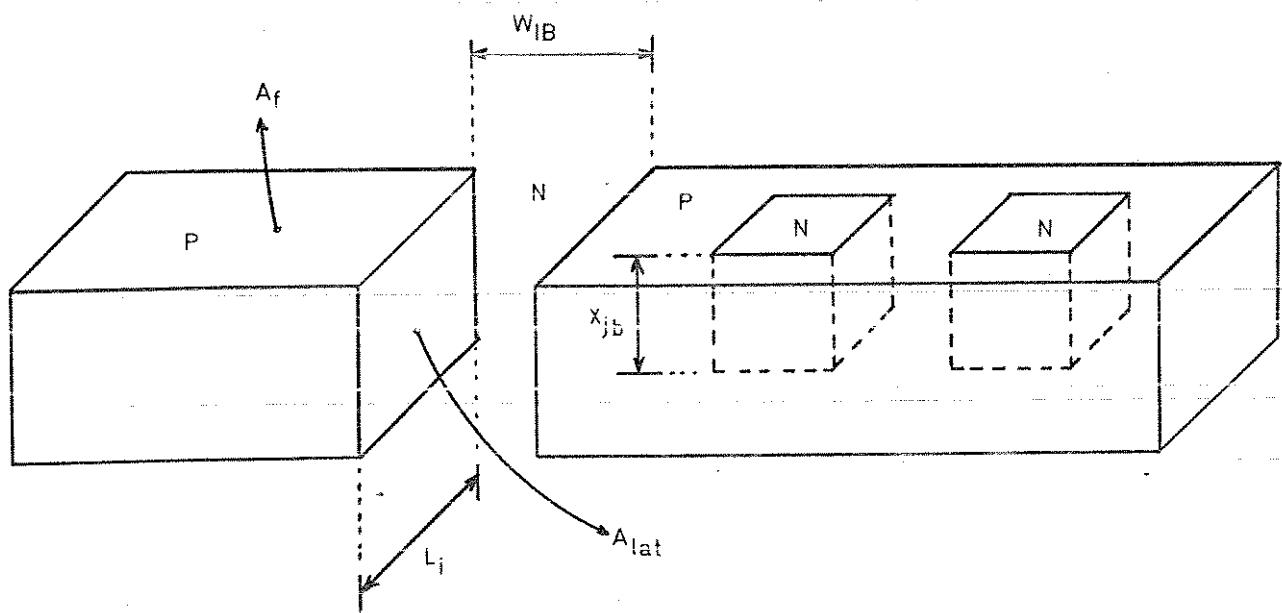


Figura 2.8

O ganho do transistor, de acordo com a referência [27], pode ser aproximado por

$$\frac{1}{\beta_F} = \frac{1}{\beta_O} + \frac{w_B^2}{2 L_p^2} \quad (36.)$$

com

$$\beta_O \approx \frac{I_{po}}{I_{Bo}} \quad (37)$$

já que a componente de corrente de elétrons injetados na base pode ser desprezada em relação a I_{Bo} . Com

$$\begin{aligned} A_f &= 1500 \mu m^2 \\ A_{lat} &= 350 \mu m^2 \\ L_i &= 50 \mu m \\ w_{IB} &= 10 \mu m \end{aligned}$$

Calculamos $\beta_O \approx 8$. Logo, para $w_B \approx 6 \mu m$ e $L_p \approx 6 \mu m$ temos

$$\beta_F \approx 1,6.$$

O efeito do transistor PNP lateral sobre o ganho do transistor I^2L é dado, de acordo com a referência [8], por

$$\beta_{eff} \approx \frac{1}{\frac{1}{\beta_{up}} + \frac{I_{no}}{I_{po}}} \quad (38)$$

O valor de I_{po} é o calculado na expressão (34) e I_{no} é a corrente de saturação da junção base-emissor do transistor I^2L , dada por

$$I_{no} = \frac{q n_{iB}^2 \overline{Dn} A_C}{\int_{X_{JE}}^{X_{JB}} N(x) dx} \quad (39)$$

Logo, temos:

$$\frac{I_{po}}{I_{no}} = \frac{\overline{Dp}}{\overline{Dn}} \cdot \frac{x_{JB} t_i}{A_C} \cdot \frac{\int_{x_{JE}}^{x_{JB}} N(x) dx}{N_{epi} W_{TB}} \quad (40)$$

Como todos os parâmetros já foram determinados, temos, para $\beta_{up} = 15$, $\beta_{eff} \approx 11$. Podemos também fazer uma estimativa sobre o comportamento dinâmico das portas I^2L . De acordo com Davies [28], o menor tempo de atraso possível de ser obtido para uma estrutura com F coletores é dado por:

$$t_a = 1,7 F \frac{A_E}{A_C} \cdot \frac{W_{epi}}{\overline{Dn}} \cdot \frac{\int_{x_{JE}}^{x_{JB}} N(x) dx}{N_{epi}} \quad (41)$$

Para o oscilador em anel a ser confeccionado (que possui "fan-out" igual a 3) temos:

$$t_a = 61 \text{ ns.}$$

CAPÍTULO 3

MÁSCARA DE TESTE

3.1. Projeto da Máscara de Teste

Para realizar a implantação do processo há necessidade de uma máscara de teste que forneça dados sobre os parâmetros tecnológicos de confecção e sobre os dispositivos (I^2L e analógicos) confeccionados com o processo. O conjunto de máscaras foi projetado de forma a obter-se todos os dispositivos e estruturas de teste confeccionados com base rasa e base profunda, permitindo uma boa avaliação das propriedades dos dispositivos confeccionados com o processo de dupla difusão de base. O dispositivo de teste é composto por 22 estruturas de teste repetidas (já que cada estrutura é confeccionada com base rasa e profunda) formando uma pastilha de $5 \times 5 \text{ mm}^2$. Para as estruturas de teste e avaliação do processo a serem medidas com microprovadores, foi usado um padrão de metalização, para os "pads" de contato, tipo 2 x N [29], já que isso torna muito mais fácil o procedimento de medida. Nos dispositivos que se pretende medir com a pastilha encapsulada, foi usada uma disposição padrão de encapsulamento, com todos os "pads" na periferia da pastilha. A seguir apresenta-se uma descrição das estruturas de teste contidas na máscara.

- Cadeira de Inversores I^2L (L3-050).

É formada por 3 inversores I^2L ligados em série, com acesso às bases e coletores das 3 portas, e é destinado à obtenção da função de transferência estática da porta I^2L . Também pode ser usado como oscilador em anel, desde que seja feita uma realimentação externa, o que, entretanto, introduz capacitâncias adicionais. Além disso, osciladores em anel com poucos estágios fornecem valores do tempo de atraso por porta muito otimistas [30].

- Oscilador em anel 1 (L3-059).

Oscilador em anel de 15 estágios, sendo usado na saída mais um transitor como "buffer". Cada porta I^2L tem "fan-out" igual a 3, sendo usado como saída o coletor mais próximo do contato de base. A distância base-injetor na máscara é de $20 \mu\text{m}$. É usado para medir o produto potência x velocidade das portas I^2L .

- Oscilador em anel 2 (L3-058).

O mesmo dispositivo anterior, mas com distância base-injetor igual a $10 \mu\text{m}$.

- Portas I^2L com distância base-injetor igual a $10 \mu\text{m}$ e $20 \mu\text{m}$. (L3-049).

Usados na caracterização das portas I^2L , permitindo uma avaliação da influência do injetor no funcionamento dos transistores I^2L .

- Transistor PNP lateral (L3-047).

Usado para caracterizar os transistores PNP laterais construídos na parte analógica da pastilha e para avaliação das correntes de superfície da lâmina.

- Transistores NPN verticais (L3-046 e L3-067).

Usados para caracterizar os transistores NPN verticais de alta tensão de ruptura e de alto ganho que são obtidos no processo. Um dos transistores (L3-067) é um transistor de "mínimas dimensões" já que é confeccionado com as mínimas dimensões permitidas pela tecnologia.

- Porta I^2L com 6 coletores (L4-030).

Usada para medir o desempenho de estruturas com "fan-out" igual a seis.

- Dispositivos para medidas de resistência de contato de emissor (L3-062) [31].

Usado para medir a resistência de contato alumínio-silício, para aberturas de mínimas dimensões ($10 \times 10 \mu\text{m}^2$) na difusão de emissor.

- Dispositivo para medida de resistência de contato da base (L3-063) [31].

Idem ao anterior, mas usado na difusão de base.

- Dispositivo para teste de abertura de contatos (L4-031) [32].

Usado para medir a eficiência do processo de abertura de contatos, sendo usados contatos de mínimas dimensões.

- Resistor de Van der Pauw de Base (L3-065) [31], [32].

Usado para medir a resistência de folha na deposição de base.

- Resistor de Van der Pauw de emissor (L3-066) [31], [32].

Usado para medir a resistência de folha na deposição de emissor.

- Resistor de Van der Pauw de base sob o emissor (L3-064) [31], [32].

Usado para medir a resistência de folha da difusão de base que fica sob a difusão de emissor (região de base ativa). É de grande interesse para o processo em desenvolvimento, onde as cargas nas bases dos transistores são parâmetros muito importantes.

- Estrutura de "over etching" (L4-048) [32].

Fornecem dados sobre o "over-etching" durante a decapagem na abertura de janelas de difusão (isolação N^+ , base P emissor N^+), e de contatos, bem como na metalaização.

- Flip-Flop tipo D (L4-029).

Usado para a obtenção da máxima frequência de "Toggle", que pode ser usada com "flip-flops" confeccionados com o processo.

Nas figuras 3.1 e 3.2 são apresentadas as máscaras de teste confeccionadas.

3.2. Confecção do Conjunto de Máscaras

A máscara de teste, confeccionada com auxílio do sistema do PAC do Laboratório de Eletrônica e Dispositivos, permite que sejam feitas alterações na geometria dos dispositivos (como alterações nas regras do projeto devido a avanços tecnológicos) de uma forma extremamente simples e rápida [33]. Os programas usados na geração das máscaras, escritos em linguagem LPG, encontram-se no apêndice B.

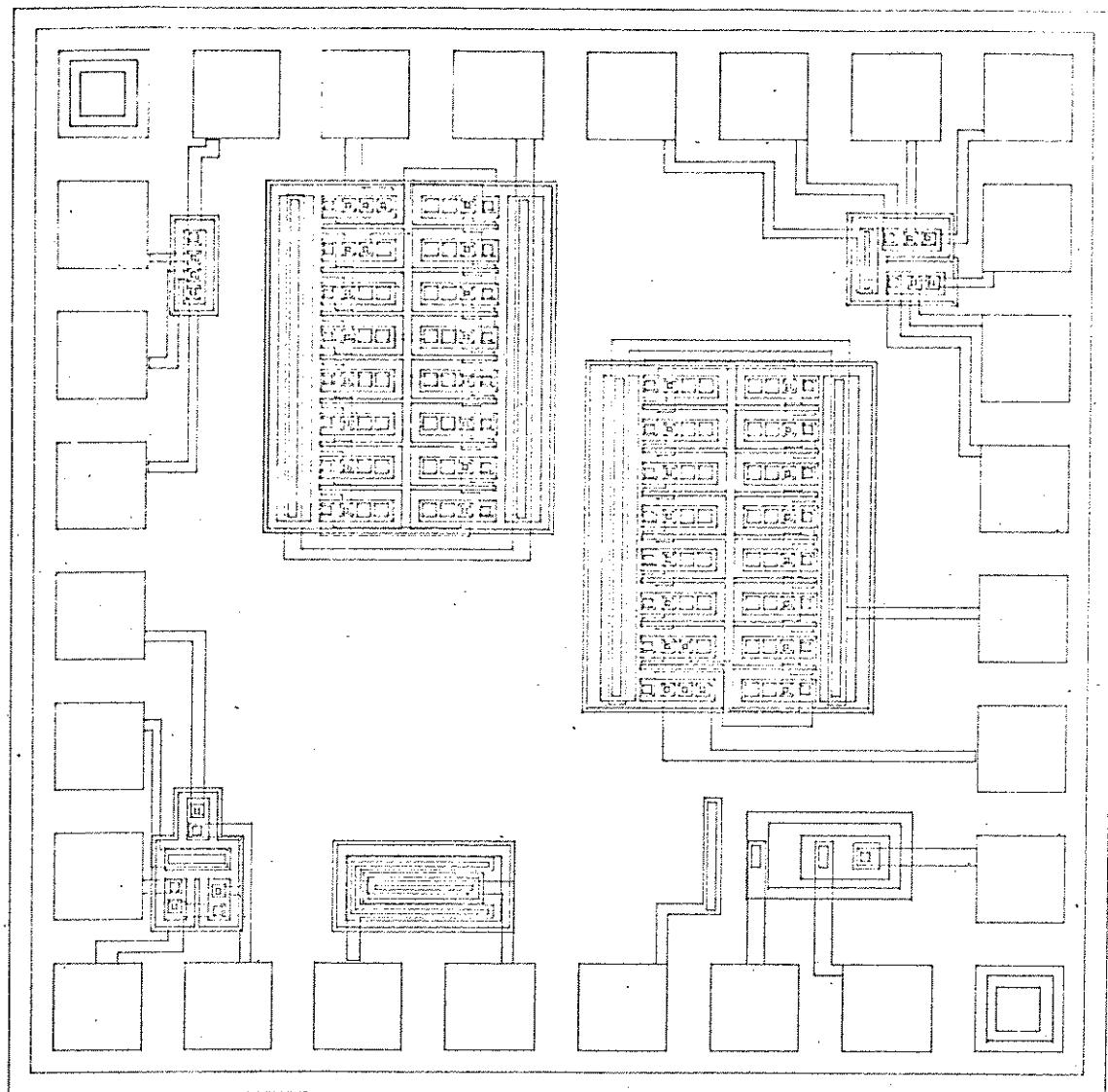


Figura 3.1 - Máscara de teste

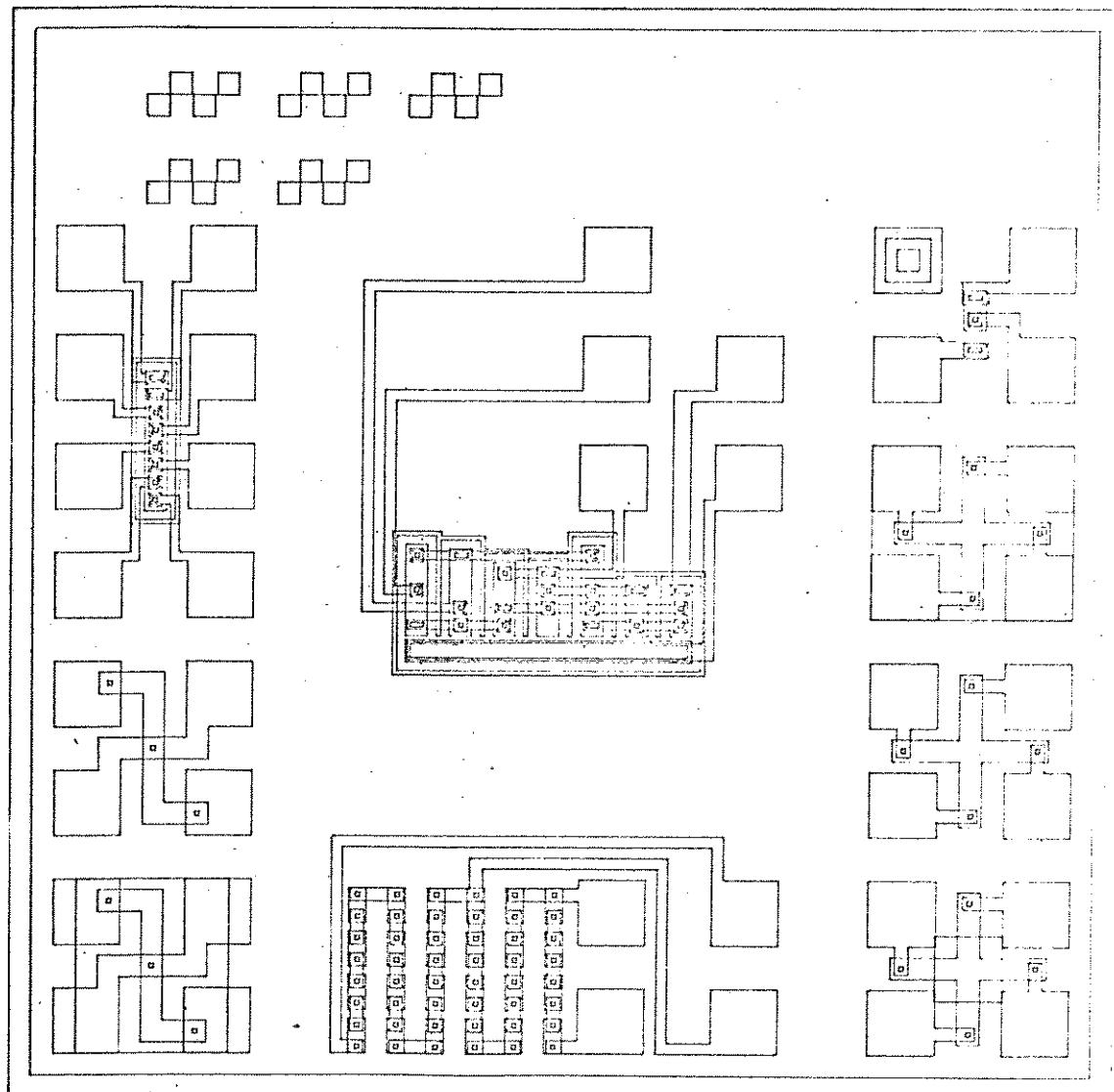


Figura 3.2 - Máscara de teste-padrão $2 \times N$

CAPÍTULO 4

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo são apresentados os principais resultados obtidos na caracterização dos dispositivos confeccionados com o processo de dupla difusão de base. Apresentam-se também medidas realizadas nos dispositivos de teste do processo e nas lâminas de acompanhamento.

4.1. O Processo Fixado

A versão final do processo utilizado é ligeiramente diferente da calculada no capítulo 2, pois, como citado anteriormente, os cálculos realizados naquele capítulo servem apenas para uma primeira aproximação.

A primeira fornada apresentou problemas tanto com os transistores da parte analógica, como com os da parte I^2L . Os transistores da parte I^2L tiveram a região de base atravessada pela difusão de emissor, e os transistores da parte analógica apresentaram tensões de ruptura muito baixas, com a ruptura ocorrendo por "punch-through". Através de medidas das profundidades de junção, verificamos que os perfis de base não haviam penetrado o previsto e os perfis de emissor, pelo contrário, haviam penetrado muito mais do que o esperado. Executamos uma nova fornada, aumentando-se o tempo de penetração de base e diminuindo os tempos de deposição e penetração do emissor. Os resultados mostraram que os transistores da parte analógica tinham as características desejadas, mas os transistores da parte I^2L tinham largura de base muito pequena (da ordem de 0,2 μm), o que tornava difícil o controle do processo. Isso fazia com que vários transistores ainda tivessem as bases atravessadas pelo emissor. Novamente alteramos a difusão de base, desta vez aumentando o tempo de deposição da base I^2L , visando, com isso, aumentar o valor da carga ativa na base dos transistores I^2L . A seguir apresentamos a versão final do processo.

1. Deposição de fósforo.

Tempo: 30 minutos

Temperatura: 1050°C

2. Penetração de fósforo.

Tempo: 30 minutos

Temperatura: 900°C

3. Deposição de boro.

Tempo: 50 minutos

Temperatura: 960°C

4. Penetração de boro.

Tempo: 45 minutos

Temperatura: 1150°C

5. Deposição de boro.

Tempo: 40 minutos

Temperatura: 960°C

6. Penetração de boro.

Tempo: 70 minutos

Temperatura: 1150°C

7. Deposição de fósforo

Tempo: 30 minutos

Temperatura: 1050°C

8. Penetração de fósforo

Tempo: 30 minutos

Temperatura: 900°C

9. Abertura de contatos.

10. Metalização.

No apêndice C apresentamos os principais itens de uma ordem de serviço (ficha de programa de processamento) usada no Laboratório de Eletrônica e Dispositivos, onde são descritas, em detalhe, cada etapa do processo.

4.2. Medidas Realizadas nos Circuitos Digitais I²L

4.2.1. Osciladores em Anel

Na figura 4.1 apresentamos os resultados obtidos na medida dos osciladores em anel I²L. Temos, no mesmo gráfico, a média dos osciladores em anel com distância base-injetor W_{IB} igual a 10 µm e 20 µm.

O oscilador com W_{IB} = 10 µm apresentou um tempo mínimo de atraso por porta de 75 ns, com um produto potência-velocidade médio de aproximadamente 3,6 pj, enquanto que para o oscilador com W_{IB} = 20 µm o tempo de atraso mínimo foi de 80 ns e o produto potência-velocidade médio foi de aproximadamente 6,5 pj.

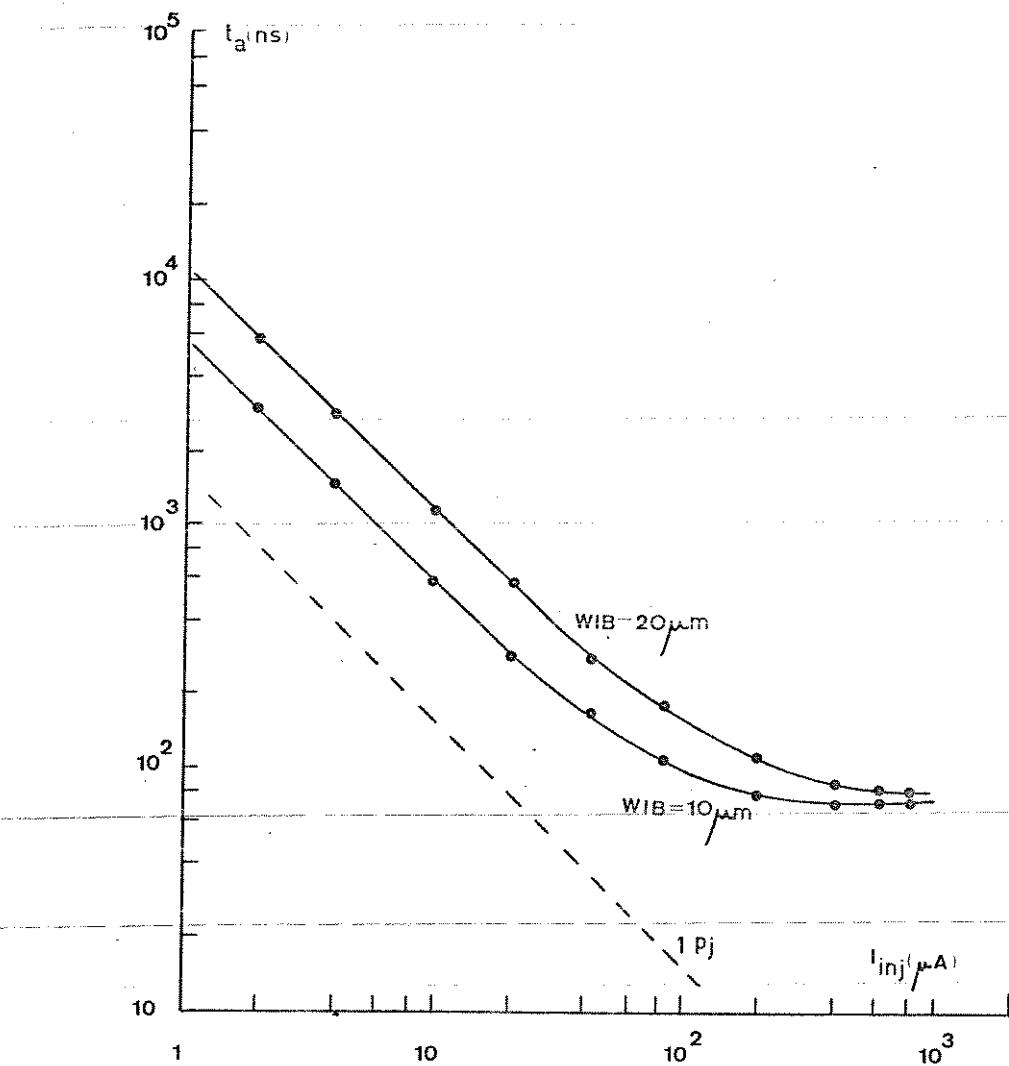


Figura 4.1 - Tempo de atraso por porta em função da corrente de injetor.

4.2.2. Injetor (PNP lateral)

- Ganho do corrente.

A medida do ganho de corrente do transistor PNP lateral foi realizada de acordo com o esquema da figura 4.2. Os resultados são apresentados na figura 4.3, onde temos β_{PNP} em função da corrente de colôtor I_C para os injetores com $W_{IB} = 10 \mu\text{m}$ e $W_{IC} = 20 \mu\text{m}$.

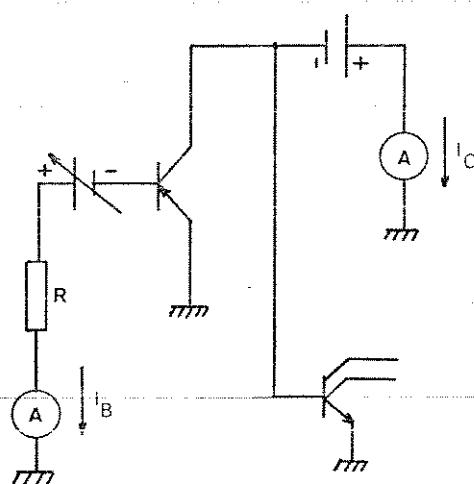


Figura 4.2 - Montagem utilizada para medida do ganho de corrente do injetor.

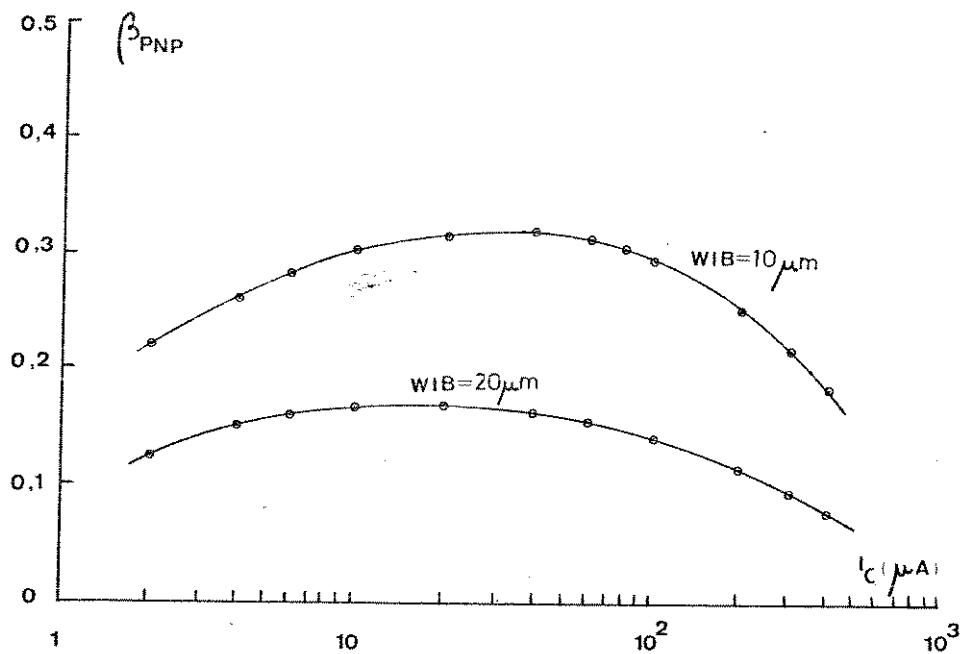


Figura 4.3 - Ganho do PNP Lateral em função da corrente de coletor.

4.2.3. Portas I^2L com dois coletores

Para medir o ganho do transistor NPN das portas I^2L foi utilizado o esquema apresentado na figura 4.4. As medidas foram realizadas com o injetor aterrado (S_1 fechada) e flutuando (S_1 aberta). Os resultados são apresentados nas figuras 4.5 e 4.6.

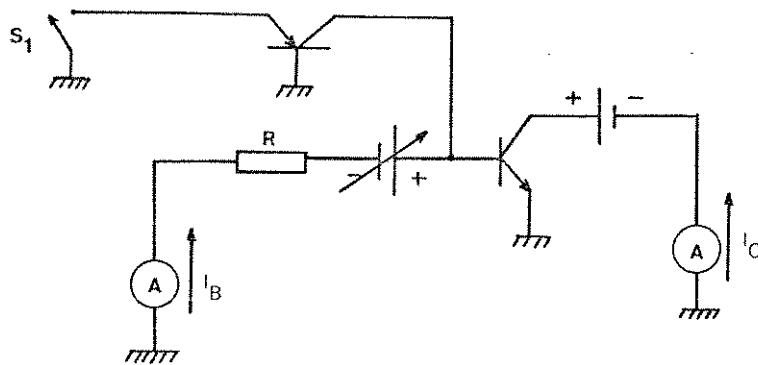


Figura 4.4 - Montagem utilizada para medida do ganho dos transistores NPN.

4.2.4. Porta I^2_L com Seis Coletores

Usando o mesmo esquema apresentado na figura 4.4, medimos as portas I^2_L com seis coletores e $W_{IB} = 10 \mu\text{m}$. Como vemos no resultado apresentado na figura 4.7, o ganho do 6º coletor é maior do que 1 para correntes I_C até aproximadamente $300 \mu\text{A}$. Portanto, é possível utilizar estruturas com "fan-out" igual a 6, desde que não se ultrapasse o nível de $300 \mu\text{A}$ por porta.

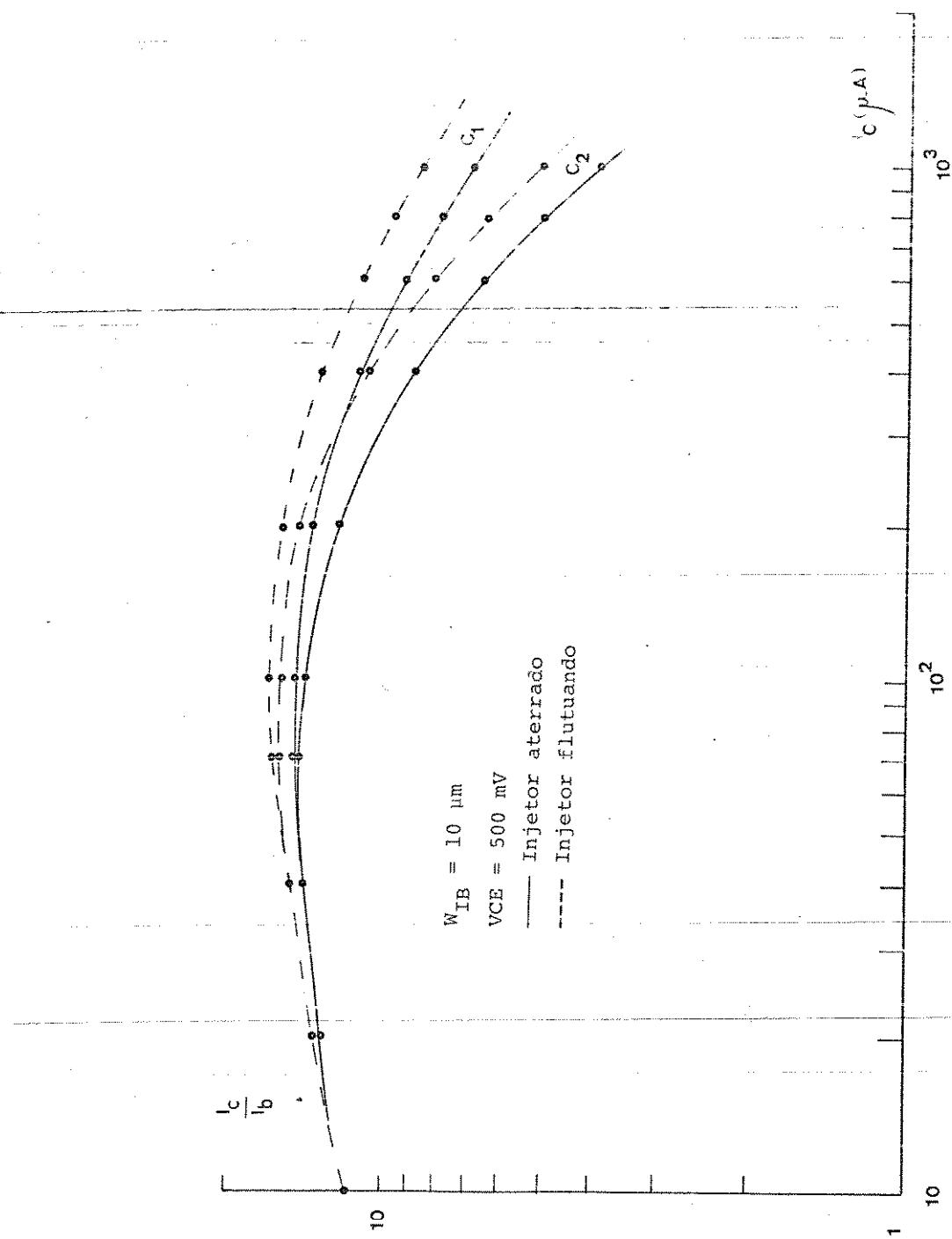


Figura 4.5 - Ganhos dos transistores NPN portas com $W_{IB} = 10 \mu\text{m}$.

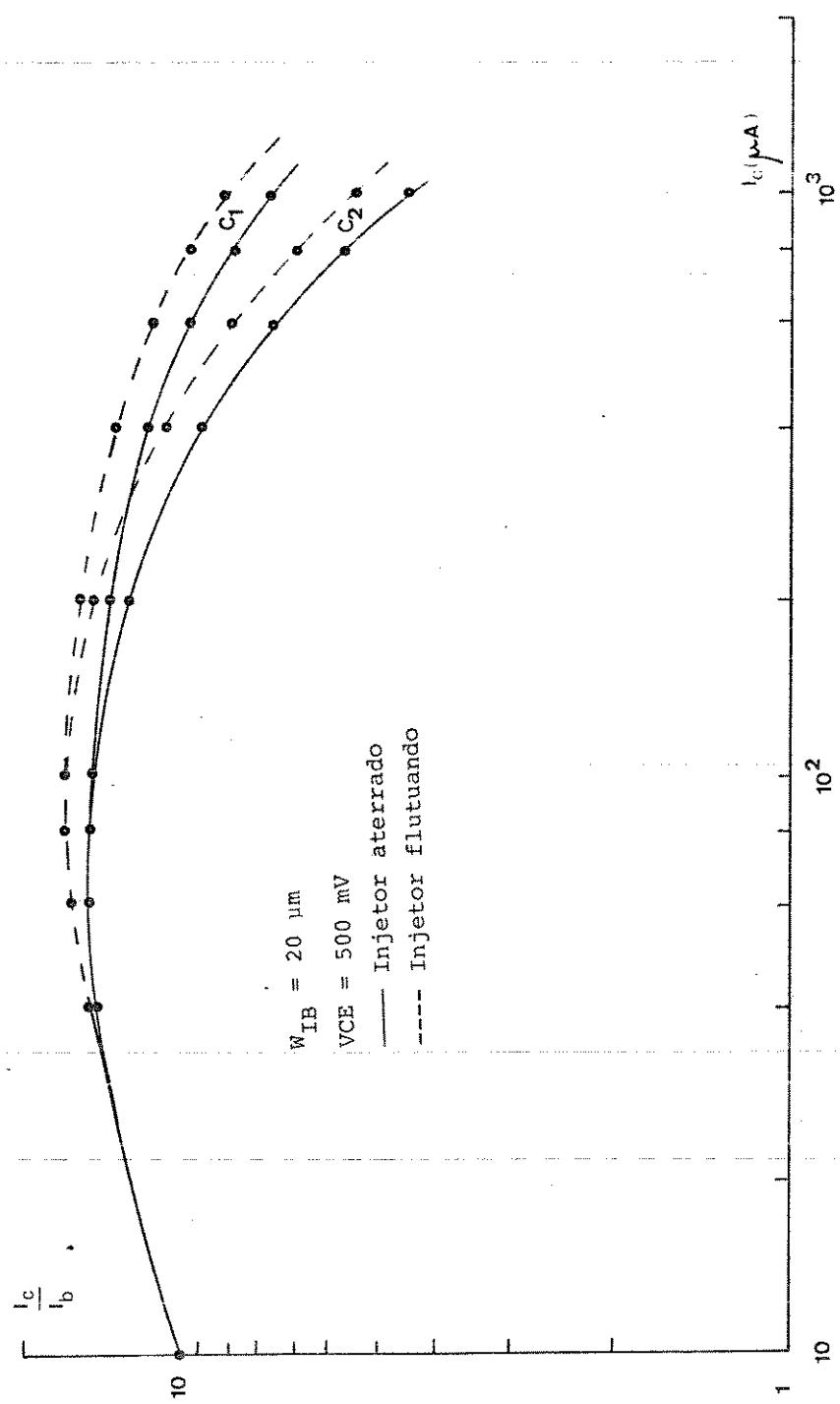


Figura 4.6 - Ganho dos transistores NPN (portas com $W_{IB} = 20 \mu\text{m}$).

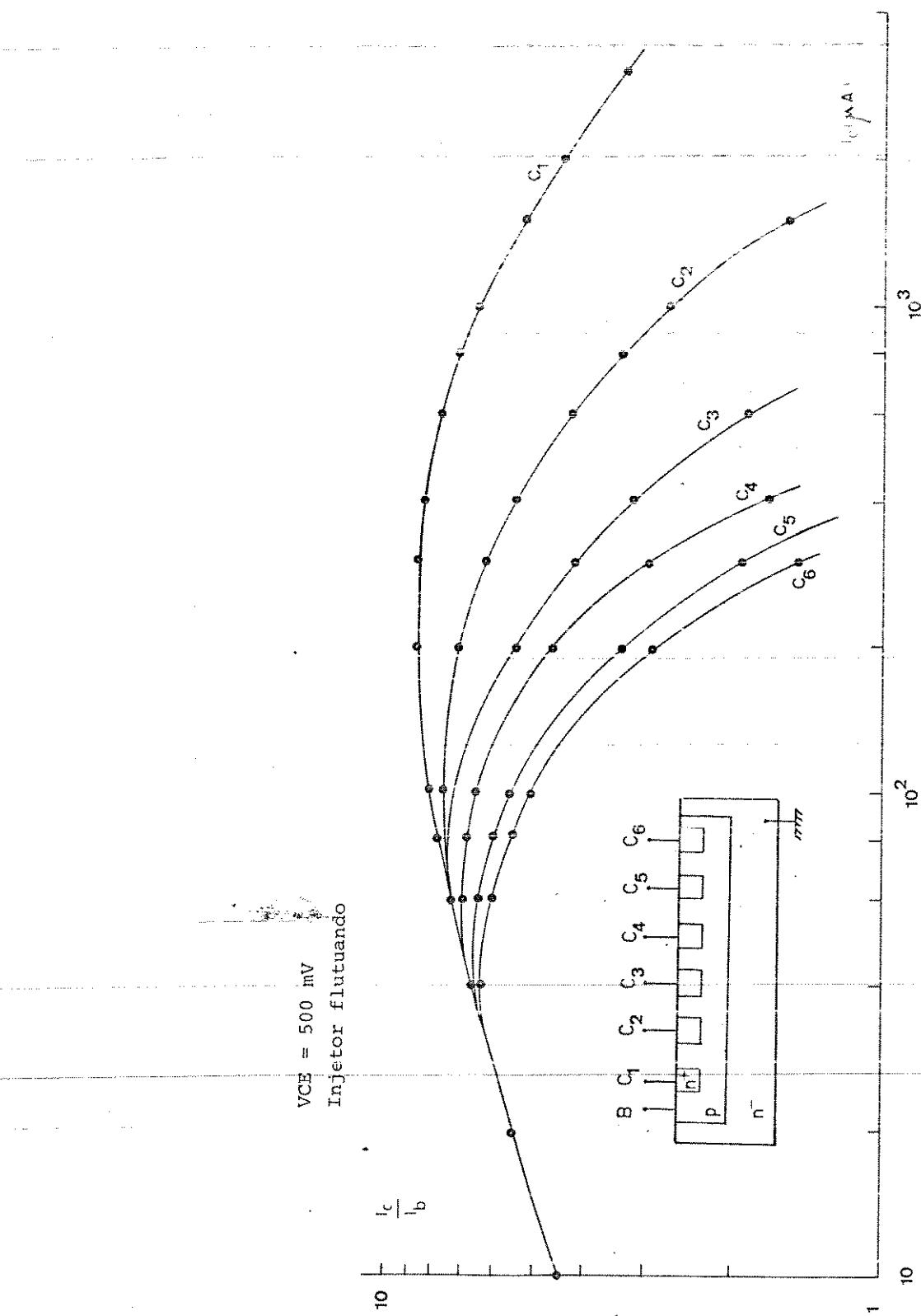
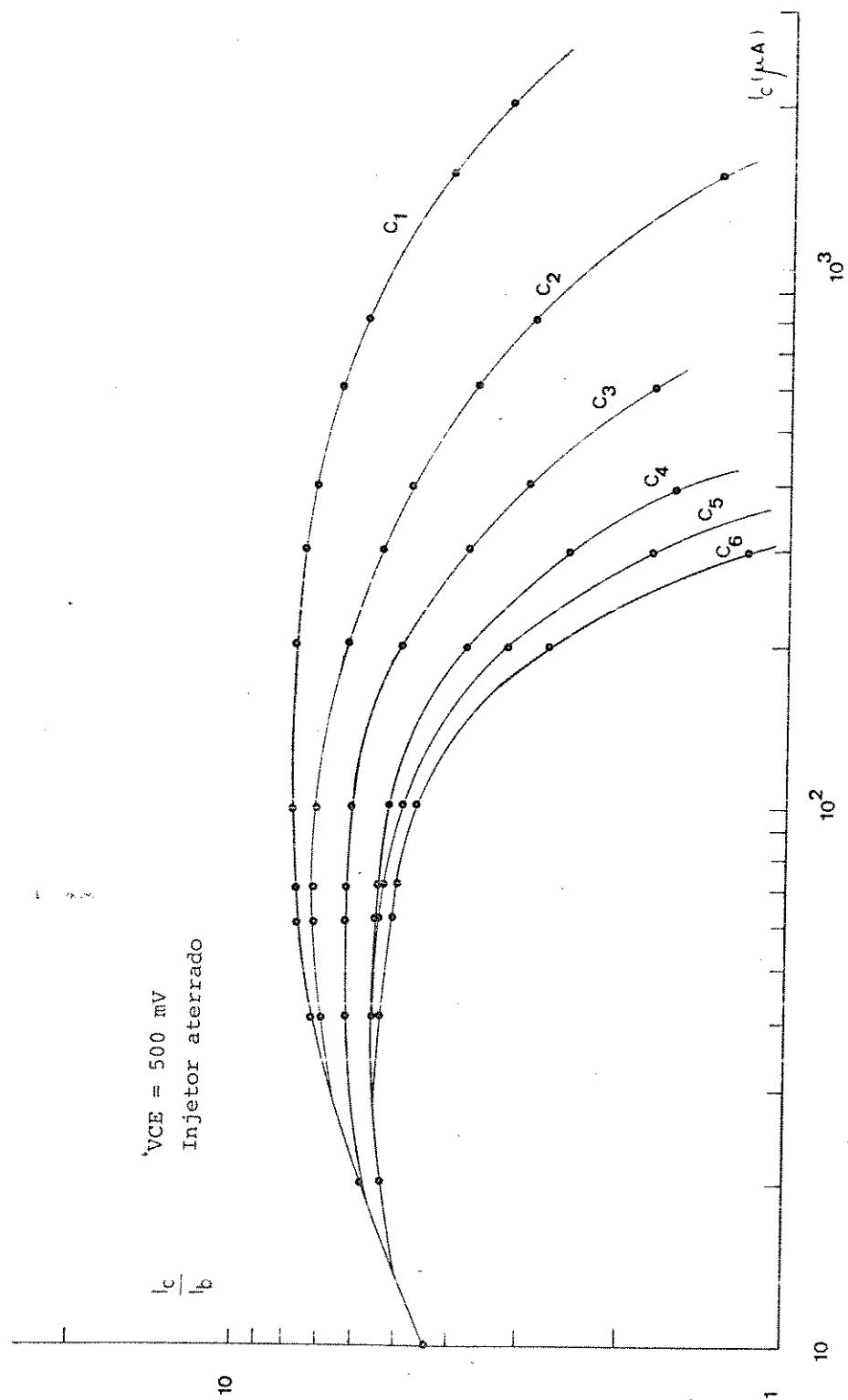


Figura 4.7 (a) - Ganho do transistão NPN com uma estrutura com 6 coletores (Injector flutuando).



4.2.5. Função de Transferência Estática de uma Porta I^2L

A função de transferência estática para uma porta I^2L foi obtida utilizando-se a montagem da figura 4.8.

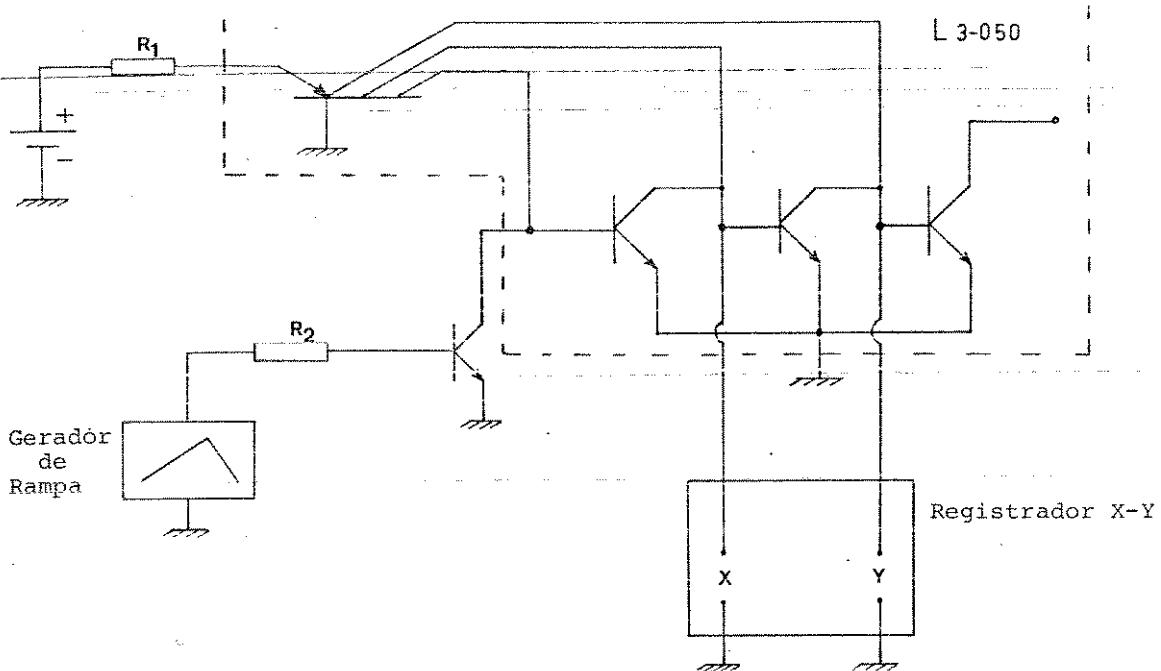


Figura 4.8 - Montagem usada para obtenção da característica estática de transferência das portas I^2L .

A medida foi realizada usando o 1º coletor de cada porta. Os resultados são apresentados na figura 4.9.

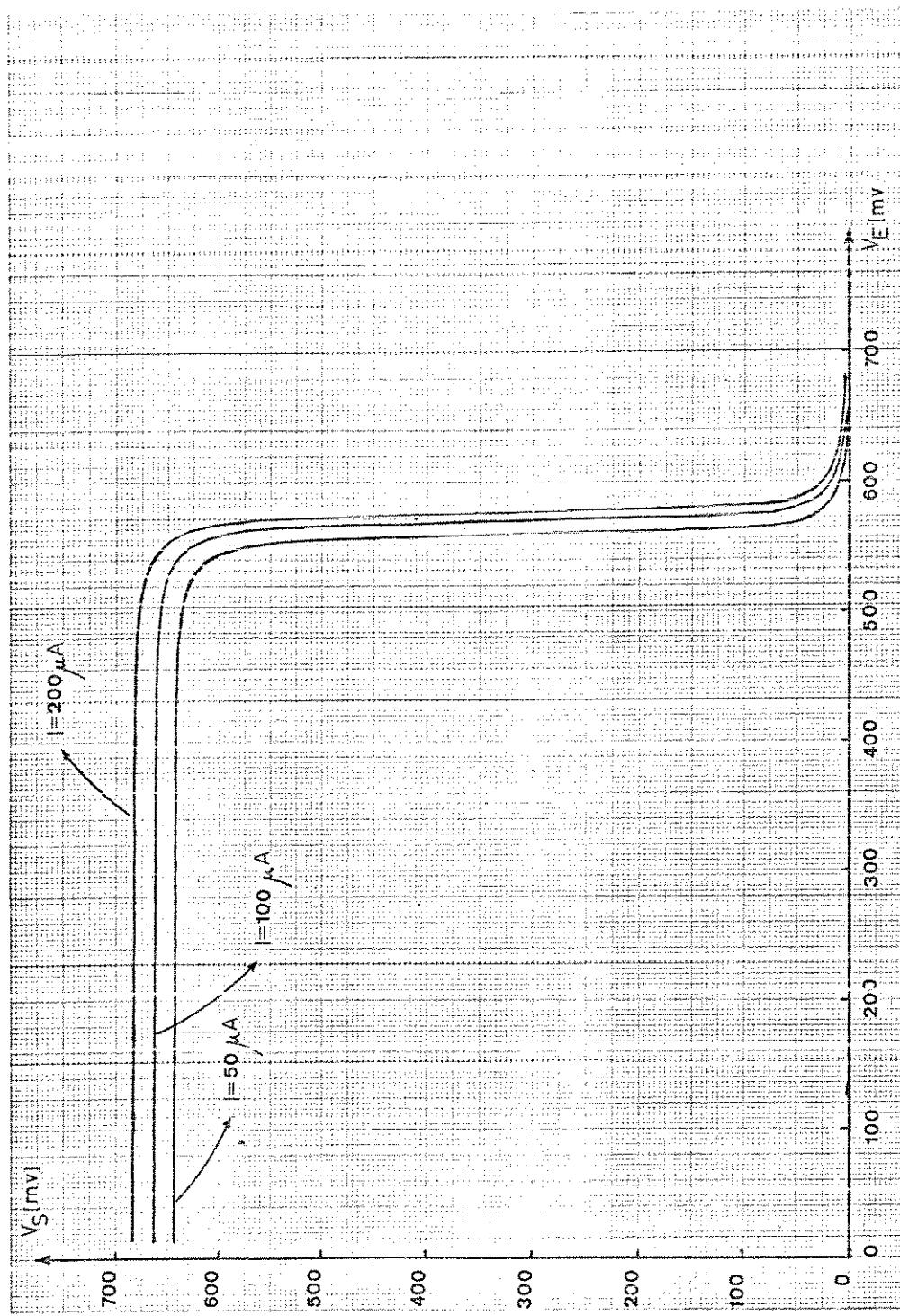


Figura 4.9 - Função de transferência estática.

4.2.6. Tensões de Ruptura

As medidas das tensões de ruptura dos transistores NPN dos circuitos I^2L , apresentados na tabela 4.1 foram feitas no traçador de curvas Tektronix/577.

Para a medida das tensões de ruptura, foi utilizado o seguinte critério: será considerada a tensão de ruptura da junção e valor de tensão reversa aplicada à junção, na qual a corrente que flui pela junção atinge o valor de 1 mA.

TABELA 4.1

VCBO	=	8,5V
VCEO	=	3,0V
VBEO	=	17V
VCES	=	3,0V

4.3. Medidas Realizadas nos Transistores da Parte Analógica

4.3.1. Tensões de Ruptura

a) Transistor de base profunda.

Os resultados das medidas das tensões de ruptura(feitas no traçador de curvas) nos transistores de base profunda são apresentadas na tabela 4.2.

TABELA 4.2

VCBO	=	65V
VCEO	=	35V
VCES	=	65V
VBEO	=	8V

b) Transistor de base rasa.

Os resultados são apresentados na tabela 4.3. Como podemos observar, estes transistores apresentam tensões de ruptura muito menores do que os de base profunda.

TABELA 4.3

VCBO	=	20V
VCEO	=	12V
VCES	=	12V
VBEO	=	8V

Vamos fazer algumas considerações sobre a ruptura em transistores bipolares. Imagine-se um transistor bipolar com a junção base-coletor polarizada reversamente. Se o transistor apresenta ruptura por "punch-through", com uma tensão V_{PT} (tensão de "punch-through") aplicada à junção, a região de depleção do coletor atinge o emissor. Se a polarização está sendo aplicada entre coletor e emissor, teremos a ruptura VCEO ocorrendo exatamente para este valor de tensão, já que temos um caminho formado para a circulação de corrente entre coletor e emissor. Caso o contato seja feito entre

base e coletor, ao se atingir a tensão V_{PT} não existe um caminho formado para a circulação de corrente. Ao aumentarmos a polarização, a junção base-emissor passa a ficar sob polarização reversa e rompe quando esta polarização atinge o valor de V_{BEO} . Portanto, quando atingirmos a tensão $V_{PT} + V_{BEO}$, a junção base-coletor rompe. Logo para transistores em que a ruptura ocorre por "punch-through" temos $V_{CBO} = V_{CEO} + V_{BEO}$.

Podemos concluir, a partir dessas observações, que os transistores de base rasa rompem por "punch-through" ($V_{CBO} = V_{CEO} + V_{BEO}$), enquanto que os transistores de base profunda rompem por avalanche.

4.3.2. Ganho de Corrente em Emissor Comum

- a) Transistores de base profunda.

Na figura 4.10 apresentamos os resultados da medida de $\beta_F \times I_C$ e $\beta_R \times I_C$, feitas nas condições de $V_{CE} = 5V$

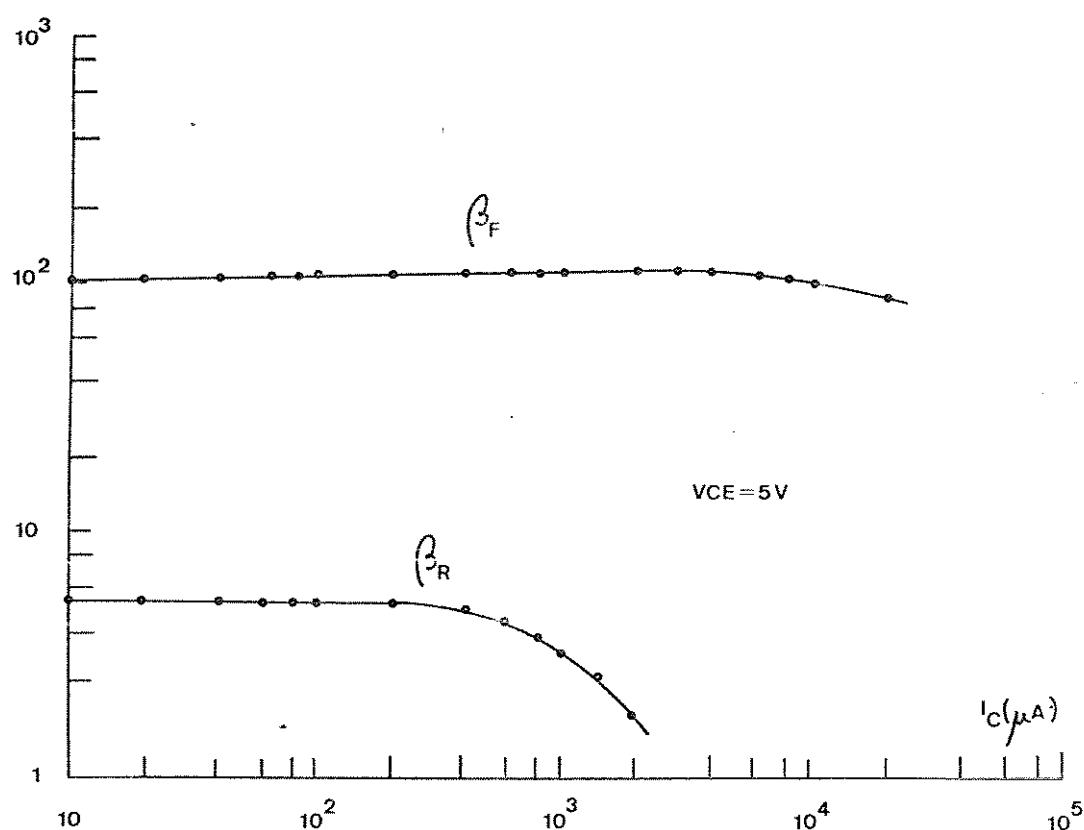


Figura 4.10 - Ganho direto e reverso em função da corrente de coletor.

b) Transistores de base rasa

As mesmas curvas ($\beta_F \times I_C$ e $\beta_R \times I_C$) são apresentadas na figura 4.11. As medidas foram feitas usando a montagem apresentada na figura 4.12.

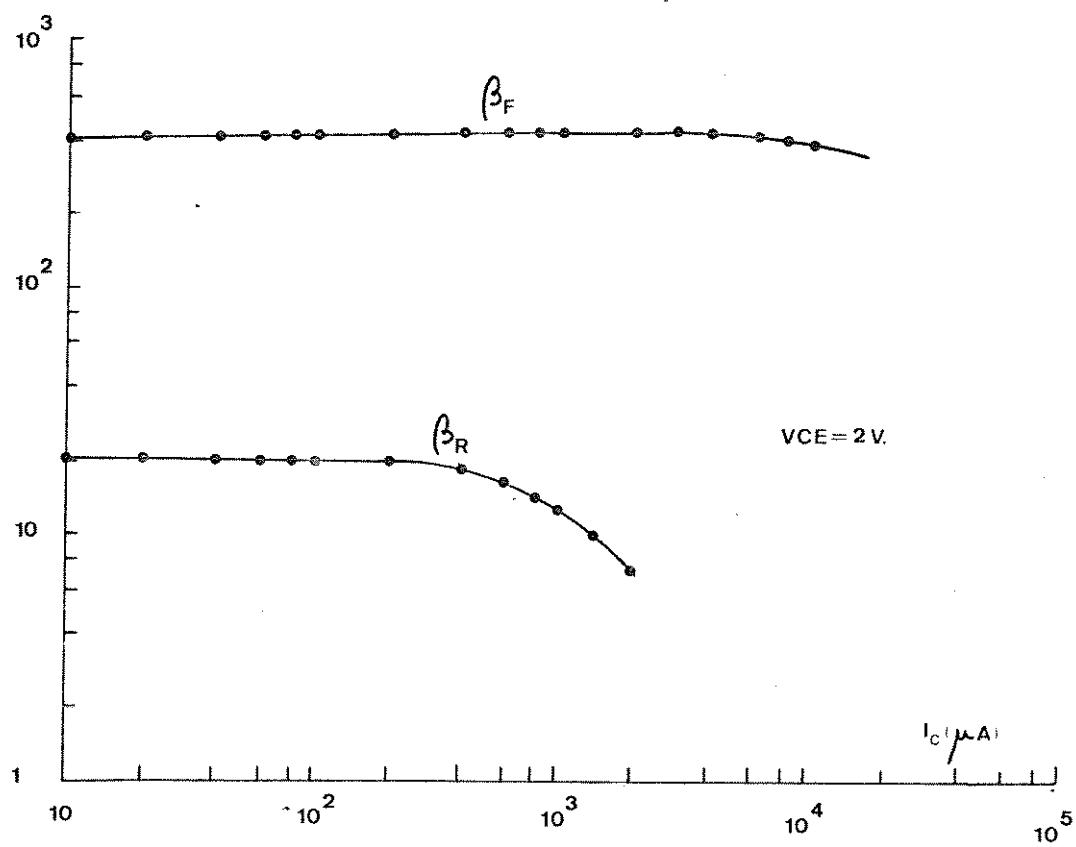
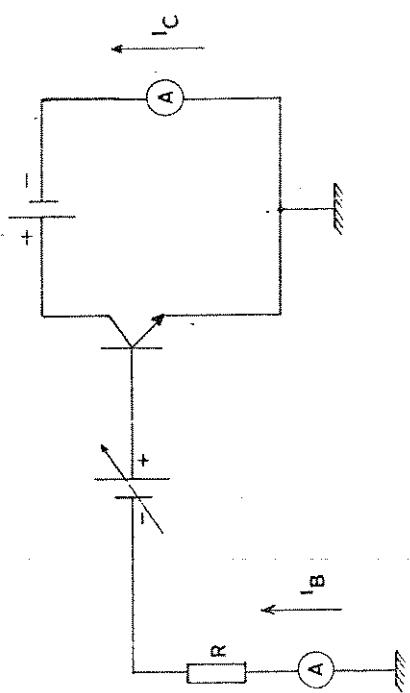
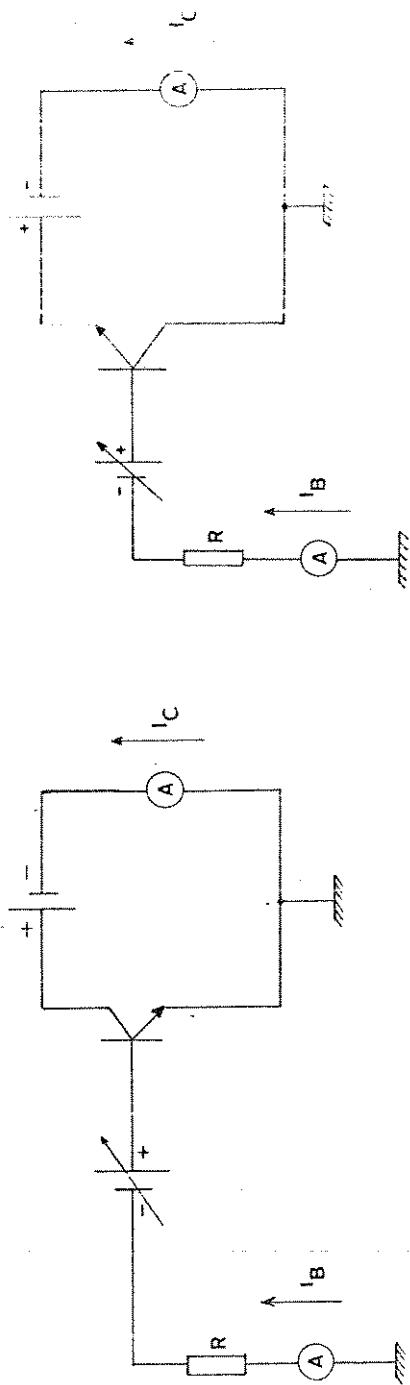


Figura 4.11 - Ganho em função da corrente de coletor para os transistores de base rasa.

Figura 4.12 - Montagem usada para medida de (a) β_P x I_C , (b) β_R e I_B .



4.3.3. Caracterização dos Diodos Base-emissor e Base-coletor dos Transistores de Base Rasa e Base Profunda

Usando as montagens apresentadas na figura 4.10, realizamos as medidas de $I_C \times V_{BE}$, $I_B \times V_{BE}$, $I_E \times V_{BC}$ e $I_B \times V_{BC}$ nos transistores de base rasa e base profunda. Os resultados obtidos são apresentados nas figuras 4.14 e 4.15.

Das curvas $I_C \times V_{BE}$ e $I_E \times V_{BC}$ podemos calcular o valor de $\alpha_F I_{ES}$ e $\alpha_R I_{CS}$ extrapolando as curvas para os pontos de $V_{BE} = 0V$ e $V_{BC} = 0V$ [20]. Fazendo isso obtemos:

Transistores de base rasa:

$$\alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS} \approx 8,1 \times 10^{-15} A$$

Transistores de base profunda:

$$\alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS} \approx 1,4 \times 10^{-15} A$$

Com os valores de α_F e α_R calculados a partir das figuras 4.10 e 4.11 temos:

Transistor de base rasa:

$$I_{ES} \approx 8,1 \times 10^{-15} A$$

$$I_{CS} \approx 8,5 \times 10^{-15} A$$

Transistor de base profunda:

$$I_{ES} \approx 1,4 \times 10^{-15} A$$

$$I_{CS} \approx 1,8 \times 10^{-15} A$$

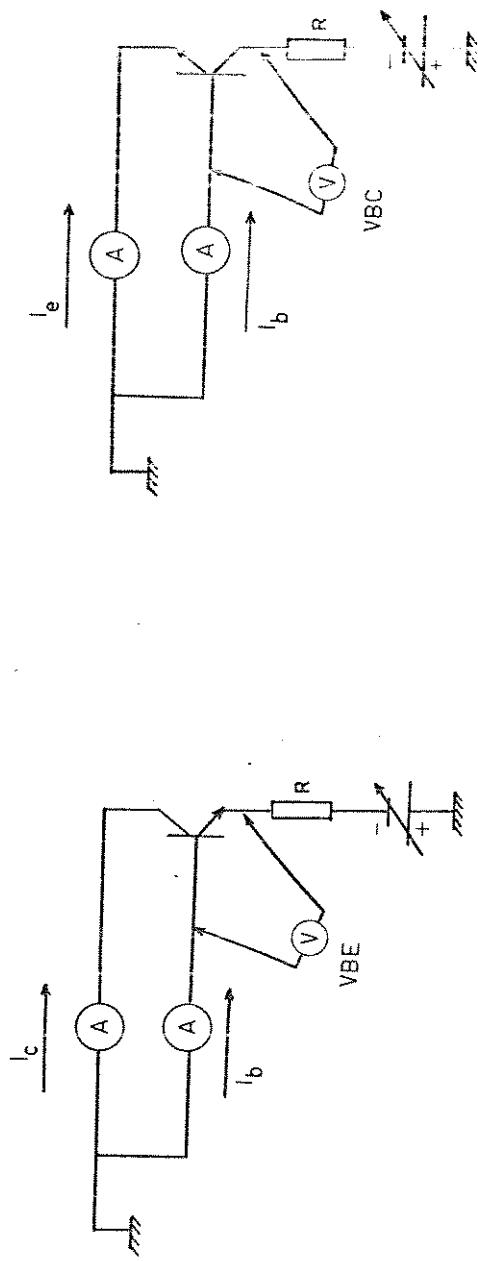


Figura 4.13 - Montagens usadas para a caracterização dos diodos:
 (a) base-emissor, (b) base-coletoor.

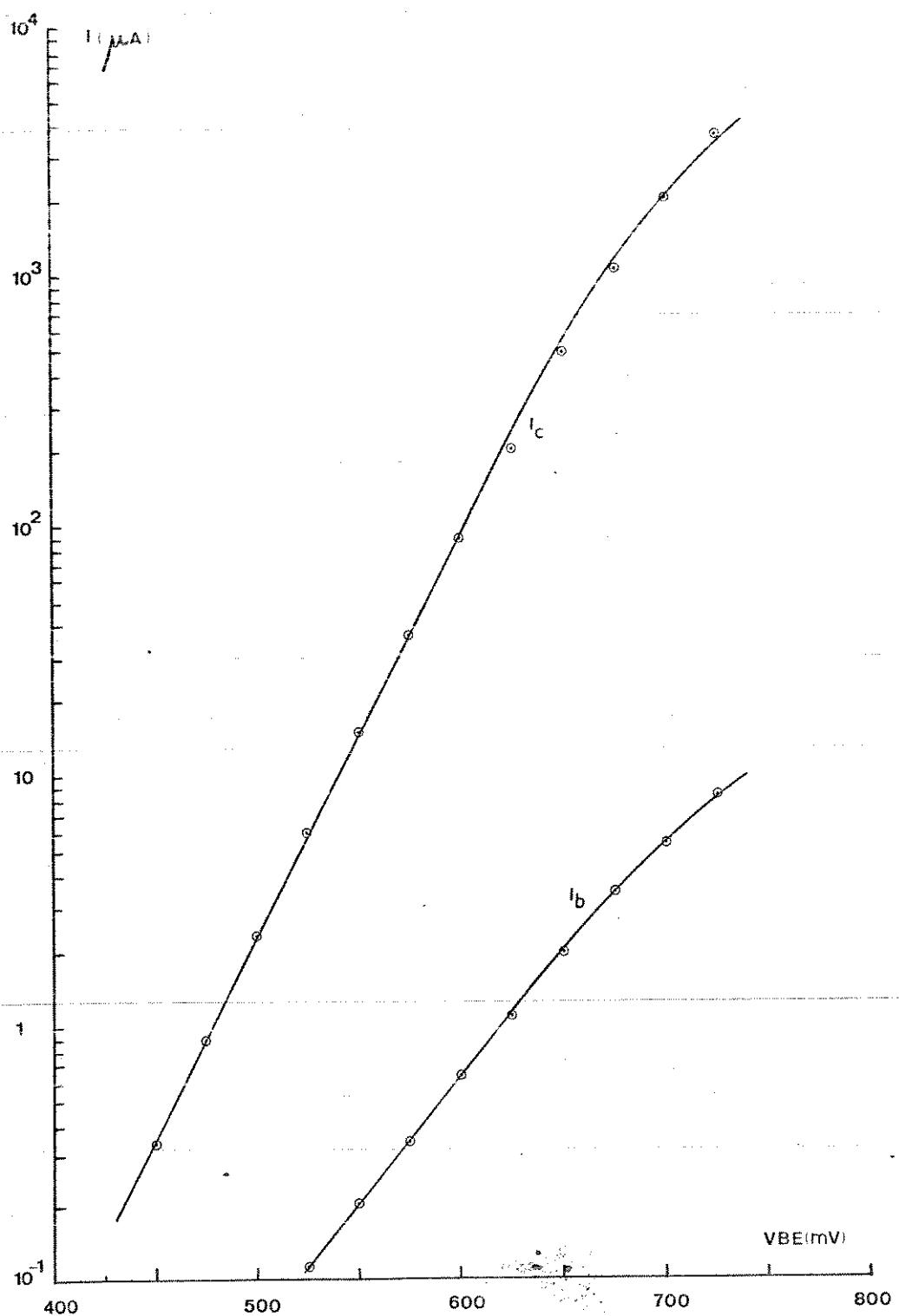


Figura 4.14(a) - Resultados das medidas $I_C \times V_{BE}$; $I_B \times V_{BE}$ para os transistores de base rasa.

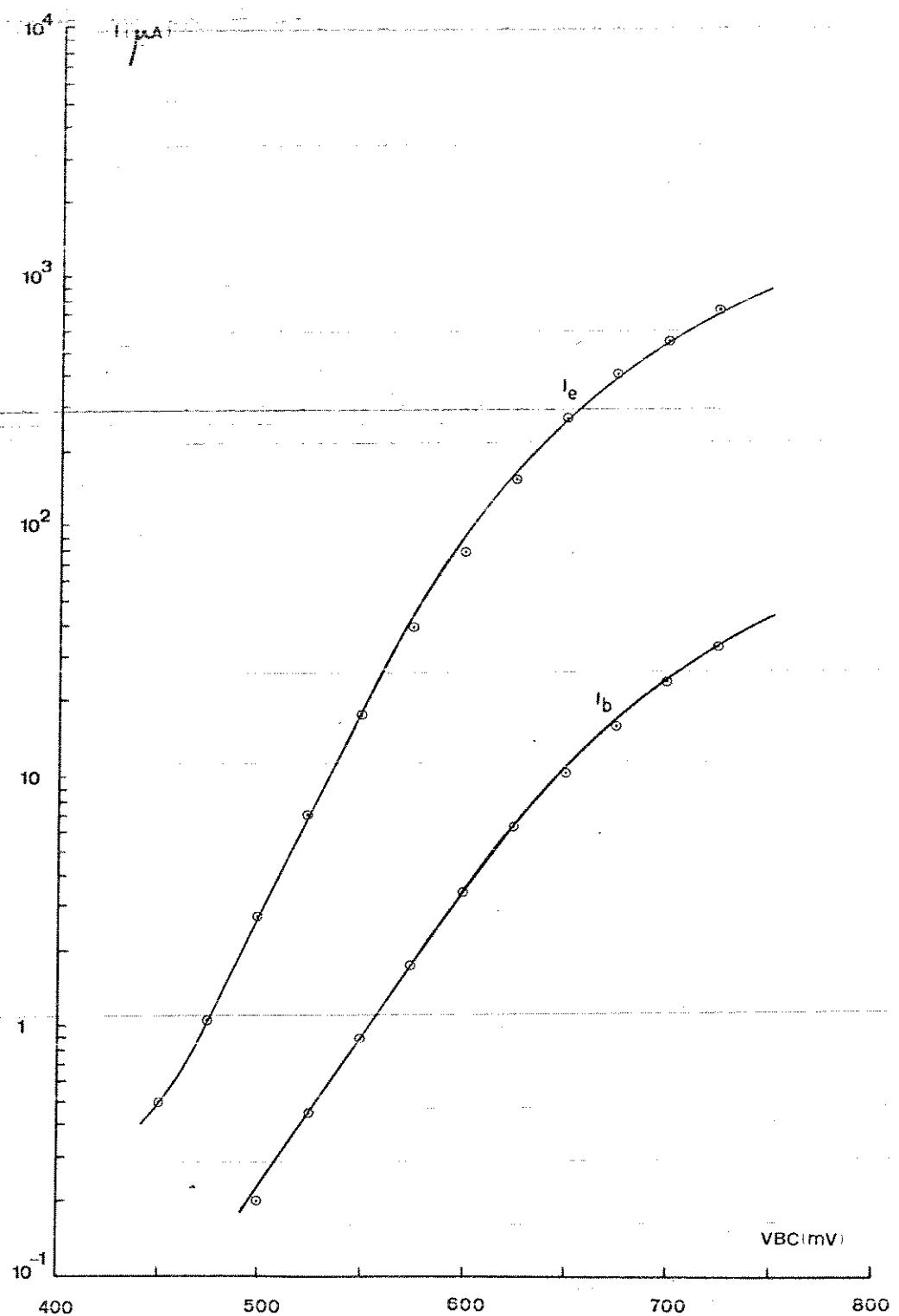


Figura 4.14(b) - Resultados das medidas de I_E x V_{BC} ; I_B x V_{BC} para os transistores de base rasa.

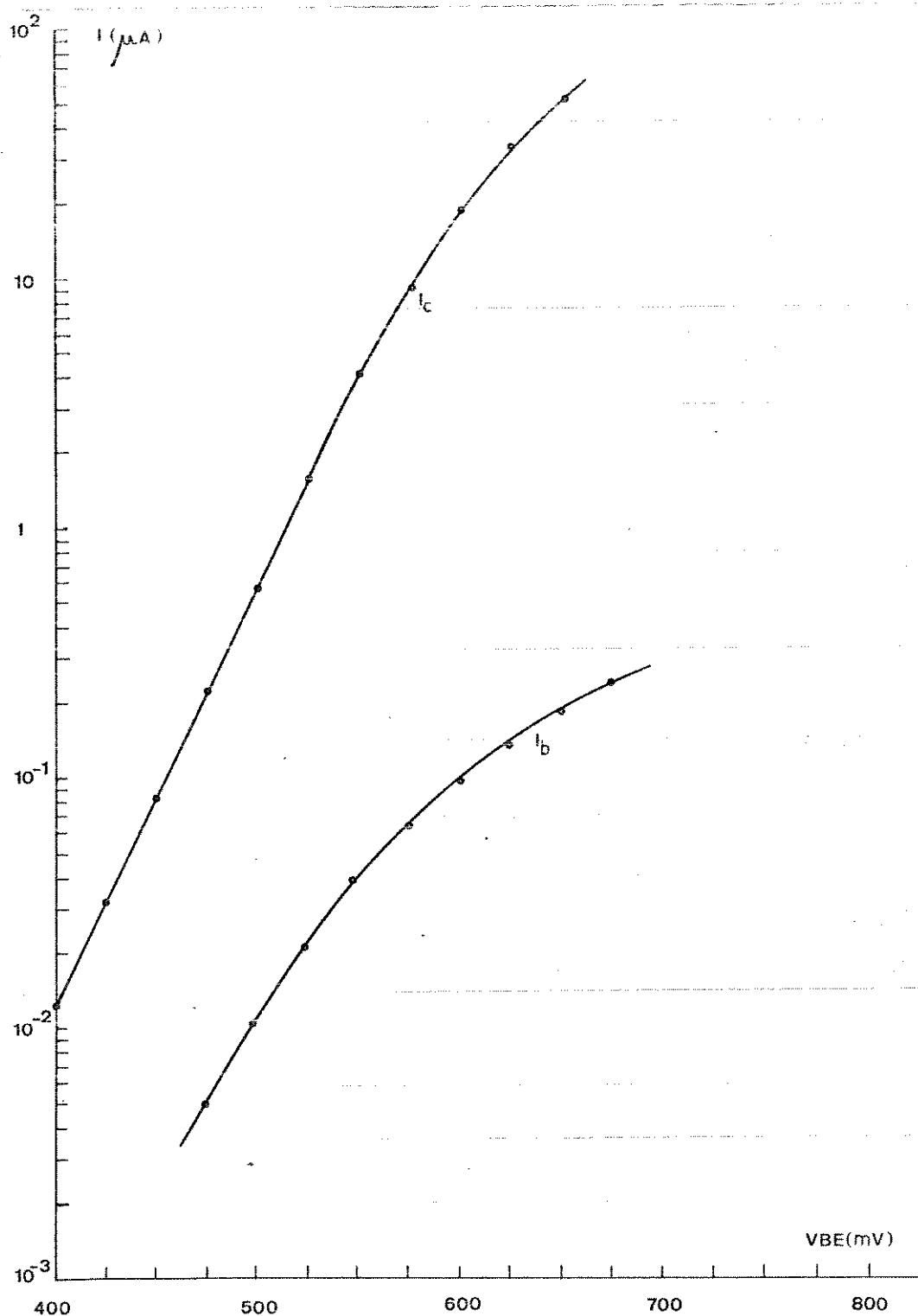


Figura 4.15(a) - Resultados das medidas de I_B x V_{BE} ; I_C x V_{BE} para os transistores de base profunda.

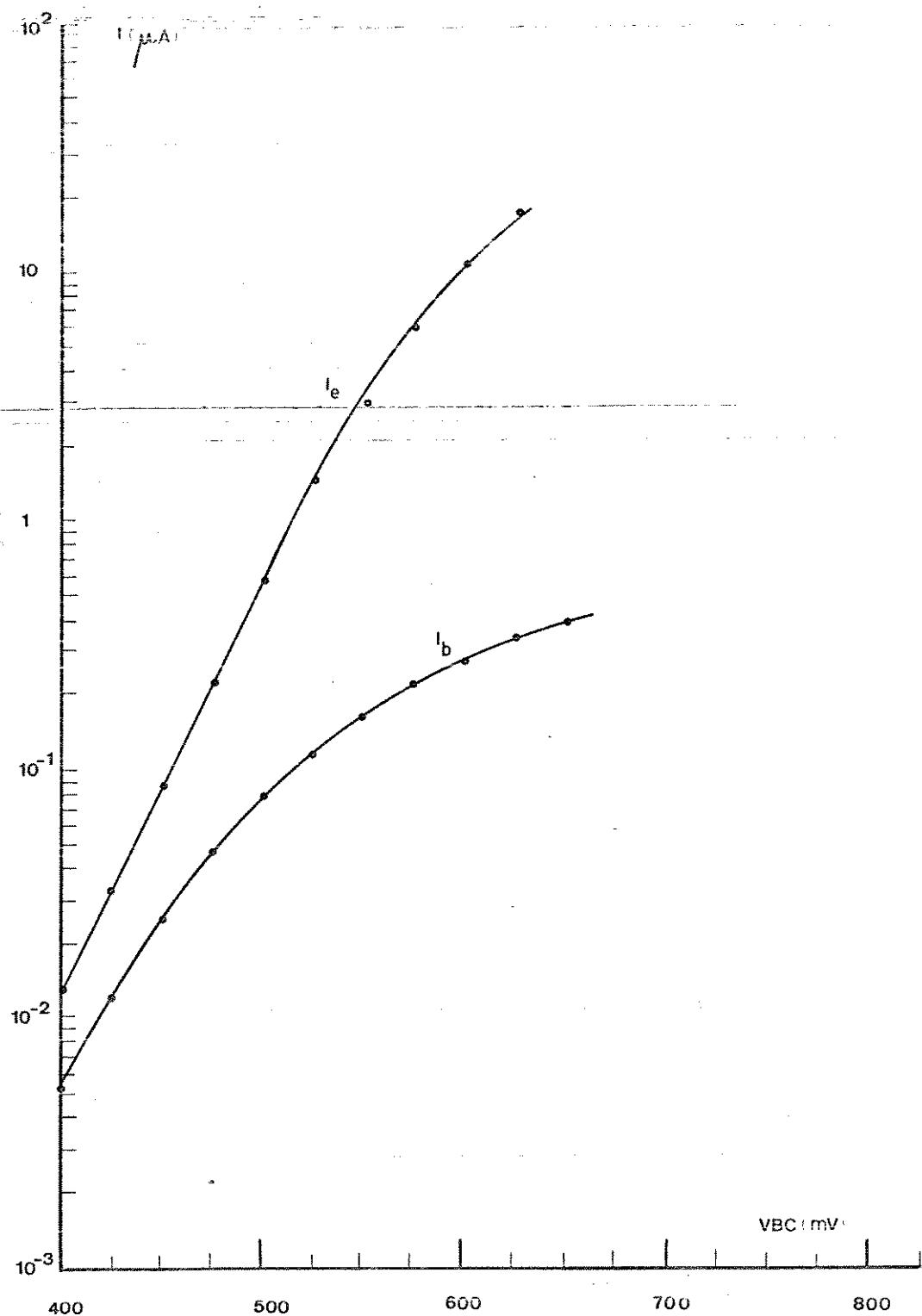


Figura 4.15(b) - Resultados das medidas de I_C x VBC; I_B x VBC para os transistores de base profunda.

4.4. Medidas de Parâmetros de Processo

Para melhor caracterização do processo estabelecido, realizamos medidas de vários parâmetros do processo, em várias lâminas confeccionadas nas duas últimas formas realizadas.

4.4.1. Medidas de Resistividade e Resistência de Contato

Na tabela 4.5 são apresentados os resultados obtidos nas medidas de resistividade e resistência de contato. As estruturas e o método usado para a realização das medidas são apresentadas na figura 4.16.

TABELA 4.5

PARÂMETRO	VALOR	DISPOSITIVO USADO NA MEDIDA	PARTE DA PASTILHA
Resistividade de emissor	$6\Omega/\square$	L3-066	I^2L
Resistividade de base	$200\Omega/\square$	L3-065	I^2L
Resistência de contato de base	21Ω	L3-063	I^2L
Resistência de contato de emissor	$0,15\Omega$	L3-062	I^2L
Resistividade de emissor	$6\Omega/\square$	L3-066	Analógica
Resistividade de base	$150\Omega/\square$	L3-065	Analógica
Resistência de contato de base	20Ω	L3-063	Analógica
Resistência de contato de emissor	$0,15\Omega$	L3-062	Analógica

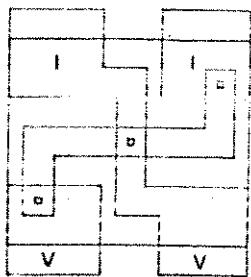
4.4.2. Medidas de Profundidade de Junção

Durante a execução do processo, foram utilizadas lâminas de acompanhamento que, através de desbaste em ângulo e coloração, permitiram a medida da profundidade das junções base-coletor e base-emissor. Os resultados encontram-se na tabela 4.6.

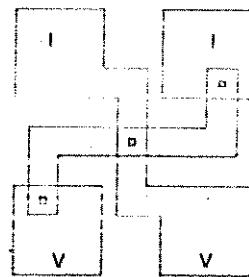
TABELA 4.6

	$x_{JB} (\mu m)$	$x_{JE} (\mu m)$
Perfil I^2L	2,5	2,0
Perfil Analógico	3,3	2,3

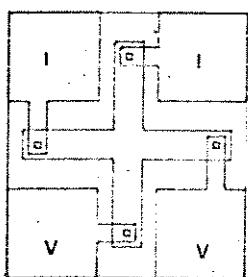
L3-062



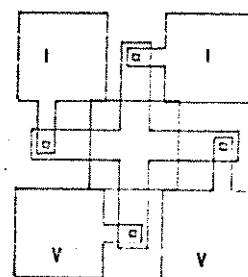
L3-063



L3-066



L3-064



L3-065

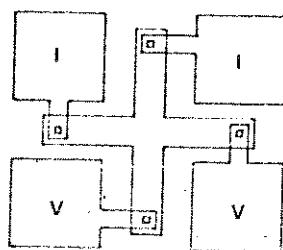


Figura 4.16

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentamos um processo de dupla difusão de base, semelhante ao utilizado na confecção de transistores Super-β em circuitos integrados bipolares, usado na confecção de circuitos digitais I^2L compatíveis com analógicos de alta tensão de ruptura. Os resultados obtidos mostram que os dispositivos confeccionados apresentam bom desempenho. Para estruturas I^2L com distância base-injetor de 10 μm , o menor tempo de atraso por porta foi de 75 ns, com um produto potência-velocidade médio de 3,6 pj. Para estas mesmas portas, foi possível obter um "fan-out" de 6.

Os transistores da parte analógica apresentaram tensões de ruptura altas ($VCEO \approx 35V$ e $VCBO \approx 65V$) com um ganho de corrente $\beta_F \approx 120$.

O processo não apresenta nenhum passo crítico (a complexidade não é grande, já que é necessária a inclusão de apenas uma máscara no processo convencional de fabricação de circuitos I^2L e analógicos na mesma pastilha e, de várias fornadas feitas no Laboratório de Eletrônica e Dispositivos, obteve-se um rendimento médio, nas pastilhas de teste, da ordem de 65%). O processo desenvolvido é uma excelente ferramenta para a confecção de circuitos I^2L e analógicos na mesma pastilha, permitindo minimizar as dimensões e o custo de sistemas análogo-digitais.

REFERÊNCIAS

- [1] Hart, C.M., Slob, A., Wulms, H.E.J., "Bipolar LSI takes a new direction with Integrated Injection Logic", Electronics 3 de outubro, 1974.
- [2] Bartee, T.C., "Digital Computer Fundamentals", McGraw Hill Kogakusha, 1977.
- [3] Hart, K., Slob, A., "Integrated Injection Logic: a new approach to LSI", IEEE JSSC, vol. SC7, nº 5, outubro 1972.
- [4] Troye, N.C. de, "Integrated Injection Logic-Present and Future", IEEE JSSC, vol. SC9, nº 5, outubro 1974.
- [5] Kirschner, N., "The effect of base resistance of the vertical NPN transistor in I^2L structures", Solid-State Electronics, vol. 20, pp 641-646, julho 1977.
- [6] Tucci, P.A., Russel, L.K., "An I^2L watch chip with direct LED drive", IEEE JSSC, vol. SC11, pp 847-851, dezembro 1976.
- [7] Saltich, J.L., George, W.L., Soderberg, J.S., "Processing Technology and AC/DC Characteristics for Linear Compatible I^2L ", IEEE JSSC, vol. SC11, pp 478-485, agosto 1975.
- [8] Klassen, F.M., "Devices Physics of Integrated Injection Logic", IEEE Trans. Electron. Devices, vol. ED-22, pp 145-152, março 1975.
- [9] Davies, R.D., Estreich, D.B., Meindl, J.D., Dutton, R.W., "I²L DC Functional Requirements", IEEE JSSC, vol. SC-12, nº 2, pp 208-210, abril 1977.
- [10] Gaffney, D.P., Bhattacharyya, A., "Modeling Device and Lay-out Effects of Performance Driven I²L", IEEE JSSC, vol. SC-12, nº 2, pp 155-162, abril 1977.
- [11] Vicent, W.A., DeMassa, T.A., "The Effect of Downward gain on the Maximum Toggle Frequency of I²L, Linear Compatible Flip-Flops", IEEE JSSC, vol. SC-14, nº 5, outubro 1979.
- [12] Blossfeld, L., "I²L und Standard Bipolartechnik Kombiniert Einneuer Prozess für Digitale und Analoge Schaltungen auf einem Chip", Elektronik, Heft 4, pp 57-60, 1977.
- [13] Warner, R.M., Fordemwalt, J.N., "Integrated Circuits: Design, Principles and Fabrication", McGraw Hill, 1965.
- [14] Baliga, B.J., Ghandi, S.K., "Analytical Solutions for the breakdown voltage of abrupt cylindrical and Spherical Junctions", Solid State Electron, vol. 19, pp. 739-744, Setembro 1976.
- [15] Irvin, J.C., "Resistivity of Bulk Silicon and of diffused layers in Silicon", Monografia 4092, Bell Telephone System.
- [16] Grove, A.S., "Physics and Technology of Semiconductor Devices", John Wiley & Sons, 1967.
- [17] Avilez, O.V., "Projeto e Construção de um Controlador de Temperatura para Fornos de Difusão", Tese de Mestrado apresentada à Universidade Estadual de Campinas, Outubro 1978.
- [18] Wolf, H.H., "Silicon Semiconductor Data", Pergamon Press Inc., 1969.

- [19] Jorge, A.M., Bailbé, J.P., Mammana, C.I.Z., "Conversor D/A, I^2L : Simulação e Fixação de Processo de Construção", Codex RP-005.
- [20] Bergmann, G., "Linear Compatible I^2L Technology with High Voltage Transistors", IEEE JSSC, vol. SC-12, pp. 566-572, outubro 1977.
- [21] Runyan, W.R., "Silicon Semiconductor Technology", McGraw-Hill Book Company, 1965.
- [22] Masetti, G., Nobili, D., Solmi, S., "Profiles of Phosphorus predeposited in Silicon and Carrier Concentration in Equilibrium with SIP Precipitates", Semiconductor Silicon, pp. 648, 1977.
- [23] Rey, G., Leturq, P., "Theorie Aprofondie du transistor Bipolaire", Masson et Cie, Paris - 1972.
- [24] Mortens, R.P., Deman, H.J., Van Overstraeten R.J., "Calculation of the Emitter Efficiency of Bipolar Transistors", IEEE Trans. Electron. Devices, vol. ED-20, nº 9, Setembro 1973.
- [25] Bailbé, J.P., "Contribution A L'etude Physique des Transistors Bipolaires", Tese de Doutor de Estado, Universidade P.S. de Toulouse, Fevereiro 1977.
- [26] Vanheck, C., "Sur la Modelisation des Structures a Injection en Regime Statique", Tese de Doutorado de 3º ciclo apresentada à Universidade Paul Sabatier de Toulouse, Setembro 1975.
- [27] Hamilton, D.J., Howard, W.G., Basic Integrated Circuits Engineering", McGraw-Hill, 1975.
- [28] Davies, R.D., Meindl, J.D., "Considerations for High-Speed and Analog-Circuit-Compatible I^2L and the Analysis of Poly I^2L ", IEEE JSSC, vol. SC-14, pp. 876-887, Outubro 1979.
- [29] Buehler, M.G., "Comprehensive Test Patterns with Modular Test Structures: The 2 by N Probe-PAD Array Approach". Solid State Technology, outubro 1979.
- [30] Lohstroh, J., "Dynamic Behavior of Active Charge in I^2L Transistors", IEEE Int. Solid State Circuits Conf. Digest Tech. Papers, pp. 94-95, Fevereiro 1976.
- [31] Buehler, M.G., David, J.M., Mattis, R.L., Phillips, W.E., Thurber, W.R., "Planar Test Structures for Characterizing Impurities in Silicon", NBS, Janeiro 1976.
- [32] Thurber, W.R., Buehler, M.G., "Semiconductor Measurement Technology: Microelectronic Test Pattern NBS-4", NBS Special Publication, 400-32, Abril 1978.
- [33] Bezerra, P.C., "SPA-D: Um Sistema de Projetos Automatizados de CI's Digitais", Tese de Doutorado apresentada à Universidade Estadual de Campinas, Novembro 1980.

APÊNDICE A

PROGRAMA PARA CÁLCULO DO PERFIL EQUIVALENTE DE EMISSOR

```

C PROGRAMA PARA CALCULAR O PERFIL EQUIVALENTE DE EMISSOR
C EM UM TERRITÓRIO MÍDIALE
C -----PURIFICAR, ESTIMAR E FAZER OS PESOS COMPLEMENTAREM
C OS EQUAIS, 21)
21 FOR AT(X0,100,X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8,X9,X10,X11,X12,X13,X14,X15,X16,X17,X18,X19,X20,X21,X22,X23,X24,X25,X26,X27,X28,X29,X30,X31,X32,X33,X34,X35,X36,X37,X38,X39,X40,X41,X42,X43,X44,X45,X46,X47,X48,X49,X50,X51,X52,X53,X54,X55,X56,X57,X58,X59,X60,X61,X62,X63,X64,X65,X66,X67,X68,X69,X70,X71,X72,X73,X74,X75,X76,X77,X78,X79,X79,X80,X81,X82,X83,X84,X85,X86,X87,X88,X89,X89,X90,X91,X92,X93,X94,X95,X96,X97,X98,X99,X100,X101,X102,X103,X104,X105,X106,X107,X108,X109,X110,X111,X112,X113,X114,X115,X116,X117,X118,X119,X120,X121,X122,X123,X124,X125,X126,X127,X128,X129,X130,X131,X132,X133,X134,X135,X136,X137,X138,X139,X140,X141,X142,X143,X144,X145,X146,X147,X148,X149,X150,X151,X152,X153,X154,X155,X156,X157,X158,X159,X159,X160,X161,X162,X163,X164,X165,X166,X167,X168,X169,X169,X170,X171,X172,X173,X174,X175,X176,X177,X178,X179,X179,X180,X181,X182,X183,X184,X185,X186,X187,X188,X189,X189,X190,X191,X192,X193,X194,X195,X196,X197,X198,X199,X199,X200,X201,X202,X203,X204,X205,X206,X207,X208,X209,X209,X210,X211,X212,X213,X214,X215,X216,X217,X218,X219,X219,X220,X221,X222,X223,X224,X225,X226,X227,X228,X229,X229,X230,X231,X232,X233,X234,X235,X236,X237,X238,X239,X239,X240,X241,X242,X243,X244,X245,X246,X247,X248,X249,X249,X250,X251,X252,X253,X254,X255,X256,X257,X258,X259,X259,X260,X261,X262,X263,X264,X265,X266,X267,X268,X269,X269,X270,X271,X272,X273,X274,X275,X276,X277,X278,X279,X279,X280,X281,X282,X283,X284,X285,X286,X287,X288,X289,X289,X290,X291,X292,X293,X294,X295,X296,X297,X298,X299,X299,X300,X301,X302,X303,X304,X305,X306,X307,X308,X309,X309,X310,X311,X312,X313,X314,X315,X316,X317,X318,X319,X319,X320,X321,X322,X323,X324,X325,X326,X327,X328,X329,X329,X330,X331,X332,X333,X334,X335,X336,X337,X338,X339,X339,X340,X341,X342,X343,X344,X345,X346,X347,X348,X349,X349,X350,X351,X352,X353,X354,X355,X356,X357,X358,X359,X359,X360,X361,X362,X363,X364,X365,X366,X367,X368,X369,X369,X370,X371,X372,X373,X374,X375,X376,X377,X378,X379,X379,X380,X381,X382,X383,X384,X385,X386,X387,X388,X389,X389,X390,X391,X392,X393,X394,X395,X396,X397,X398,X399,X399,X400,X401,X402,X403,X404,X405,X406,X407,X408,X409,X409,X410,X411,X412,X413,X414,X415,X416,X417,X418,X419,X419,X420,X421,X422,X423,X424,X425,X426,X427,X428,X429,X429,X430,X431,X432,X433,X434,X435,X436,X437,X438,X439,X439,X440,X441,X442,X443,X444,X445,X446,X447,X448,X449,X449,X450,X451,X452,X453,X454,X455,X456,X457,X458,X459,X459,X460,X461,X462,X463,X464,X465,X466,X467,X468,X469,X469,X470,X471,X472,X473,X474,X475,X476,X477,X478,X479,X479,X480,X481,X482,X483,X484,X485,X486,X487,X488,X489,X489,X490,X491,X492,X493,X494,X495,X496,X497,X498,X499,X499,X500,X501,X502,X503,X504,X505,X506,X507,X508,X509,X509,X510,X511,X512,X513,X514,X515,X516,X517,X518,X519,X519,X520,X521,X522,X523,X524,X525,X526,X527,X528,X529,X529,X530,X531,X532,X533,X534,X535,X536,X537,X538,X539,X539,X540,X541,X542,X543,X544,X545,X546,X547,X548,X549,X549,X550,X551,X552,X553,X554,X555,X556,X557,X558,X559,X559,X560,X561,X562,X563,X564,X565,X566,X567,X568,X569,X569,X570,X571,X572,X573,X574,X575,X576,X577,X578,X579,X579,X580,X581,X582,X583,X584,X585,X586,X587,X588,X589,X589,X590,X591,X592,X593,X594,X595,X596,X597,X598,X599,X599,X600,X601,X602,X603,X604,X605,X606,X607,X608,X609,X609,X610,X611,X612,X613,X614,X615,X616,X617,X618,X619,X619,X620,X621,X622,X623,X624,X625,X626,X627,X628,X629,X629,X630,X631,X632,X633,X634,X635,X636,X637,X638,X639,X639,X640,X641,X642,X643,X644,X645,X646,X647,X648,X649,X649,X650,X651,X652,X653,X654,X655,X656,X657,X658,X659,X659,X660,X661,X662,X663,X664,X665,X666,X667,X668,X669,X669,X670,X671,X672,X673,X674,X675,X676,X677,X678,X679,X679,X680,X681,X682,X683,X684,X685,X686,X687,X688,X689,X689,X690,X691,X692,X693,X694,X695,X696,X697,X698,X699,X699,X700,X701,X702,X703,X704,X705,X706,X707,X708,X709,X709,X710,X711,X712,X713,X714,X715,X716,X717,X718,X719,X719,X720,X721,X722,X723,X724,X725,X726,X727,X728,X729,X729,X730,X731,X732,X733,X734,X735,X736,X737,X738,X739,X739,X740,X741,X742,X743,X744,X745,X746,X747,X748,X749,X749,X750,X751,X752,X753,X754,X755,X756,X757,X758,X759,X759,X760,X761,X762,X763,X764,X765,X766,X767,X768,X769,X769,X770,X771,X772,X773,X774,X775,X776,X777,X778,X779,X779,X780,X781,X782,X783,X784,X785,X786,X787,X788,X789,X789,X790,X791,X792,X793,X794,X795,X796,X797,X798,X799,X799,X800,X801,X802,X803,X804,X805,X806,X807,X808,X809,X809,X810,X811,X812,X813,X814,X815,X816,X817,X818,X819,X819,X820,X821,X822,X823,X824,X825,X826,X827,X828,X829,X829,X830,X831,X832,X833,X834,X835,X836,X837,X838,X839,X839,X840,X841,X842,X843,X844,X845,X846,X847,X848,X849,X849,X850,X851,X852,X853,X854,X855,X856,X857,X858,X859,X859,X860,X861,X862,X863,X864,X865,X866,X867,X868,X869,X869,X870,X871,X872,X873,X874,X875,X876,X877,X878,X879,X879,X880,X881,X882,X883,X884,X885,X886,X887,X888,X889,X889,X890,X891,X892,X893,X894,X895,X896,X897,X898,X899,X899,X900,X901,X902,X903,X904,X905,X906,X907,X908,X909,X909,X910,X911,X912,X913,X914,X915,X916,X917,X918,X919,X919,X920,X921,X922,X923,X924,X925,X926,X927,X928,X929,X929,X930,X931,X932,X933,X934,X935,X936,X937,X938,X939,X939,X940,X941,X942,X943,X944,X945,X946,X947,X948,X949,X949,X950,X951,X952,X953,X954,X955,X956,X957,X958,X959,X959,X960,X961,X962,X963,X964,X965,X966,X967,X968,X969,X969,X970,X971,X972,X973,X974,X975,X976,X977,X978,X979,X979,X980,X981,X982,X983,X984,X985,X986,X987,X988,X989,X989,X990,X991,X992,X993,X994,X995,X996,X997,X998,X999,X999,X1000,X1001,X1002,X1003,X1004,X1005,X1006,X1007,X1008,X1009,X1009,X1010,X1011,X1012,X1013,X1014,X1015,X1016,X1017,X1018,X1019,X1019,X1020,X1021,X1022,X1023,X1024,X1025,X1026,X1027,X1028,X1029,X1029,X1030,X1031,X1032,X1033,X1034,X1035,X1036,X1037,X1038,X1039,X1039,X1040,X1041,X1042,X1043,X1044,X1045,X1046,X1047,X1048,X1049,X1049,X1050,X1051,X1052,X1053,X1054,X1055,X1056,X1057,X1058,X1059,X1059,X1060,X1061,X1062,X1063,X1064,X1065,X1066,X1067,X1068,X1069,X1069,X1070,X1071,X1072,X1073,X1074,X1075,X1076,X1077,X1078,X1079,X1079,X1080,X1081,X1082,X1083,X1084,X1085,X1086,X1087,X1088,X1089,X1089,X1090,X1091,X1092,X1093,X1094,X1095,X1096,X1097,X1098,X1099,X1099,X1100,X1101,X1102,X1103,X1104,X1105,X1106,X1107,X1108,X1109,X1109,X1110,X1111,X1112,X1113,X1114,X1115,X1116,X1117,X1118,X1119,X1119,X1120,X1121,X1122,X1123,X1124,X1125,X1126,X1127,X1128,X1129,X1129,X1130,X1131,X1132,X1133,X1134,X1135,X1136,X1137,X1138,X1139,X1139,X1140,X1141,X1142,X1143,X1144,X1145,X1146,X1147,X1148,X1149,X1149,X1150,X1151,X1152,X1153,X1154,X1155,X1156,X1157,X1158,X1159,X1159,X1160,X1161,X1162,X1163,X1164,X1165,X1166,X1167,X1168,X1169,X1169,X1170,X1171,X1172,X1173,X1174,X1175,X1176,X1177,X1178,X1179,X1179,X1180,X1181,X1182,X1183,X1184,X1185,X1186,X1187,X1188,X1189,X1189,X1190,X1191,X1192,X1193,X1194,X1195,X1196,X1197,X1198,X1199,X1199,X1200,X1201,X1202,X1203,X1204,X1205,X1206,X1207,X1208,X1209,X1209,X1210,X1211,X1212,X1213,X1214,X1215,X1216,X1217,X1218,X1219,X1219,X1220,X1221,X1222,X1223,X1224,X1225,X1226,X1227,X1228,X1229,X1229,X1230,X1231,X1232,X1233,X1234,X1235,X1236,X1237,X1238,X1239,X1239,X1240,X1241,X1242,X1243,X1244,X1245,X1246,X1247,X1248,X1249,X1249,X1250,X1251,X1252,X1253,X1254,X1255,X1256,X1257,X1258,X1259,X1259,X1260,X1261,X1262,X1263,X1264,X1265,X1266,X1267,X1268,X1269,X1269,X1270,X1271,X1272,X1273,X1274,X1275,X1276,X1277,X1278,X1279,X1279,X1280,X1281,X1282,X1283,X1284,X1285,X1286,X1287,X1288,X1289,X1289,X1290,X1291,X1292,X1293,X1294,X1295,X1296,X1297,X1298,X1299,X1299,X1300,X1301,X1302,X1303,X1304,X1305,X1306,X1307,X1308,X1309,X1309,X1310,X1311,X1312,X1313,X1314,X1315,X1316,X1317,X1318,X1319,X1319,X1320,X1321,X1322,X1323,X1324,X1325,X1326,X1327,X1328,X1329,X1329,X1330,X1331,X1332,X1333,X1334,X1335,X1336,X1337,X1338,X1339,X1339,X1340,X1341,X1342,X1343,X1344,X1345,X1346,X1347,X1348,X1349,X1349,X1350,X1351,X1352,X1353,X1354,X1355,X1356,X1357,X1358,X1359,X1359,X1360,X1361,X1362,X1363,X1364,X1365,X1366,X1367,X1368,X1369,X1369,X1370,X1371,X1372,X1373,X1374,X1375,X1376,X1377,X1378,X1379,X1379,X1380,X1381,X1382,X1383,X1384,X1385,X1386,X1387,X1388,X1389,X1389,X1390,X1391,X1392,X1393,X1394,X1395,X1396,X1397,X1398,X1399,X1399,X1400,X1401,X1402,X1403,X1404,X1405,X1406,X1407,X1408,X1409,X1409,X1410,X1411,X1412,X1413,X1414,X1415,X1416,X1417,X1418,X1419,X1419,X1420,X1421,X1422,X1423,X1424,X1425,X1426,X1427,X1428,X1429,X1429,X1430,X1431,X1432,X1433,X1434,X1435,X1436,X1437,X1438,X1439,X1439,X1440,X1441,X1442,X1443,X1444,X1445,X1446,X1447,X1448,X1449,X1449,X1450,X1451,X1452,X1453,X1454,X1455,X1456,X1457,X1458,X1459,X1459,X1460,X1461,X1462,X1463,X1464,X1465,X1466,X1467,X1468,X1469,X1469,X1470,X1471,X1472,X1473,X1474,X1475,X1476,X1477,X1478,X1479,X1479,X1480,X1481,X1482,X1483,X1484,X1485,X1486,X1487,X1488,X1489,X1489,X1490,X1491,X1492,X1493,X1494,X1495,X1496,X1497,X1498,X1499,X1499,X1500,X1501,X1502,X1503,X1504,X1505,X1506,X1507,X1508,X1509,X1509,X1510,X1511,X1512,X1513,X1514,X1515,X1516,X1517,X1518,X1519,X1519,X1520,X1521,X1522,X1523,X1524,X1525,X1526,X1527,X1528,X1529,X1529,X1530,X1531,X1532,X1533,X1534,X1535,X1536,X1537,X1538,X1539,X1539,X1540,X1541,X1542,X1543,X1544,X1545,X1546,X1547,X1548,X1549,X1549,X1550,X1551,X1552,X1553,X1554,X1555,X1556,X1557,X1558,X1559,X1559,X1560,X1561,X1562,X1563,X1564,X1565,X1566,X1567,X1568,X1569,X1569,X1570,X1571,X1572,X1573,X1574,X1575,X1576,X1577,X1578,X1579,X1579,X1580,X1581,X1582,X1583,X1584,X1585,X1586,X1587,X1588,X1589,X1589,X1590,X1591,X1592,X1593,X1594,X1595,X1596,X1597,X1598,X1599,X1599,X1600,X1601,X1602,X1603,X1604,X1605,X1606,X1607,X1608,X1609,X1609,X1610,X1611,X1612,X1613,X1614,X1615,X1616,X1617,X1618,X1619,X1619,X1620,X1621,X1622,X1623,X1624,X1625,X1626,X1627,X1628,X1629,X1629,X1630,X1631,X1632,X1633,X1634,X1635,X1636,X1637,X1638,X1639,X1639,X1640,X1641,X1642,X1643,X1644,X1645,X1646,X1647,X1648,X1649,X1649,X1650,X1651,X1652,X1653,X1654,X1655,X1656,X1657,X1658,X1659,X1659,X1660,X1661,X1662,X1663,X1664,X1665,X1666,X1667,X1668,X1669,X1669,X1670,X1671,X1672,X1673,X1674,X1675,X1676,X1677,X1678,X1679,X1679,X1680,X1681,X1682,X1683,X1684,X1685,X1686,X1687,X1688,X1689,X1689,X1690,X1691,X1692,X1693,X1694,X1695,X1696,X1697,X1698,X1699,X1699,X1700,X1701,X1702,X1703,X1704,X1705,X1706,X1707,X1708,X1709,X1709,X1710,X1711,X1712,X1713,X1714,X1715,X1716,X1717,X1718,X1719,X1719,X1720,X1721,X1722,X1723,X1724,X1725,X1726,X1727,X1728,X1729,X1729,X1730,X1731,X1732,X1733,X1734,X1735,X1736,X1737,X1738,X1739,X1739,X1740,X1741,X1742,X1743,X1744,X1745,X1746,X1747,X1748,X1749,X1749,X1750,X1751,X1752,X1753,X1754,X1755,X1756,X1757,X1758,X1759,X1759,X1760,X1761,X1762,X1763,X1764,X1765,X1766,X1767,X1768,X1769,X1769,X1770,X1771,X1772,X1773,X1774,X1775,X1776,X1777,X1778,X1779,X1779,X1780,X1781,X1782,X1783,X1784,X1785,X1786,X1787,X1788,X1789,X1789,X1790,X1791,X1792,X1793,X1794,X1795,X1796,X1797,X1798,X1799,X1799,X1800,X1801,X1802,X1803,X1804,X1805,X1806,X1807,X1808,X1809,X1809,X1810,X1811,X1812,X1813,X1814,X1815,X1816,X1817,X1818,X1819,X1819,X1820,X1821,X1822,X1823,X1824,X1825,X1826,X1827,X1828,X1829,X1829,X1830,X1831,X1832,X1833,X1834,X1835,X1836,X1837,X1838,X1839,X1839,X1840,X1841,X1842,X1843,X1844,X1845,X1846,X1847,X1848,X1849,X1849,X1850,X1851,X1852,X1853,X1854,X1855,X1856,X1857,X1858,X1859,X1859,X1860,X1861,X1862,X1863,X1864,X1865,X1866,X1867,X1868,X1869,X1869,X1870,X1871,X1872,X1873,X1874,X1875,X1876,X1877,X1878,X1879,X1879,X1880,X1881,X1882,X1883,X1884,X1885,X1886,X1887,X1888,X1889,X1889,X1890,X1891,X1892,X1893,X1894,X1895,X1896,X1897,X1898,X1899,X1899,X1900,X1901,X1902,X1903,X1904,X1905,X1906,X1907,X1908,X1909,X1909,X1910,X1911,X1912,X1913,X1914,X1915,X1916,X1917,X1918,X1919,X1919,X1920,X1921,X1922,X1923,X1924,X1925,X1926,X1927,X1928,X1929,X1929,X1930,X1931,X1932,X1933,X1934,X1935,X1936,X1937,X1938,X1939,X1939,X1940,X1941,X1942,X1943,X1944,X1945,X1946,X1947,X1948,X1949,X1949,X1950,X1951,X1952,X1953,X1954,X1955,X1956,X1957,X1958,X1959,X1959,X1960,X1961,X1962,X1963,X1964,X1965,X1966,X1967,X1968,X1969,X1969,X1970,X1971,X1972,X1973,X1974,X1975,X1976,X1977,X1978,X1979,X1979,X1980,X1981,X1982,X1983,X1984,X1985,X1986,X1987,X1988,X1989,X1989,X1990,X1991,X1992,X1993,X1994,X1995,X1996,X1997,X1998,X1999,X1999,X2000,X2001,X2002,X2003,X2004,X2005,X2006,X2007,X2008,X2009,X2009,X2010,X2011,X2012,X2013,X2014,X2015,X2016,X2017,X2018,X2019,X2019,X2020,X2021,X2022,X2023,X2024,X2025,X2026,X2027,X2028,X2029,X2029,X2030,X2031,X2032,X2033,X2034,X2035,X2036,X2037,X2038,X2039,X2039,X2040,X2041,X2042,X2043,X2044,X2045,X2046,X2047,X2048,X2049,X2049,X2050,X2051,X2052,X2053,X2054,X2055,X2056,X2057,X2058,X2059,X2059,X2060,X2061,X2062,X2063,X2064,X2065,X2066,X2067,X2068,X2069,X2069,X2070,X2071,X2072,X2073,X2074,X2075,X2076,X2077,X2078,X2079,X2079,X2080,X2081,X2082,X2083,X2084,X2085,X2086,X2087,X2088,X2089,X2089,X2090,X2091,X2092,X2093,X2094,X2095,X2096,X2097,X2098,X2099,X2099,X2100,X2101,X2102,X2103,X2104,X2105,X2106,X2107,X2108,X2109,X2109,X2110,X2111,X2112,X2113,X2114,X2115,X2116,X2117,X2118,X2119,X2119,X2120,X2121,X2122,X2123,X2124,X2125,X2126,X2127,X2128,X2129,X2129,X2130,X2131,X2132,X2133,X2134,X2135,X2136,X2137,X2138,X2139,X2139,X2140,X2141,X2142,X2143,X2144,X2145,X2146,X2147,X2148,X2149,X2149,X2150,X2151,X2152,X2153,X2154,X2155,X2156,X2157,X2158,X2159,X2159,X2160,X2161,X2162,X2163,X2164,X2165,X2166,X2167,X2168,X2169,X2169,X2170,X2171,X2172,X2173,X2174,X2175,X2176,X2177,X2178,X2179,X2179,X2180,X2181,X2182,X2183,X2184,X2185,X2186,X2187,X2188,X2189,X2189,X2190,X2191,X2192,X2193,X2194,X2195,X2196,X2197,X2198,X2199,X2199,X2200,X2201,X2202,X2203,X2204,X2205,X2206,X2207,X2208,X2209,X2209,X2210,X2211,X2212,X2213,X2214,X2215,X2216,X2217,X2218,X2219,X2219,X2220,X2221,X2222,X2223,X2224,X2225,X2226,X2227,X2228,X2229,X2229,X2230,X2231,X2232,X2233,X2234,X2235,X2236,X2237,X2238,X2239,X2239,X2240,X2241,X2242,X2243,X2244,X2245,X2246,X2247,X2248,X2249,X2249,X2250,X2251,X2252,X2253,X2254,X2255,X2256,X2257,X2258,X2259,X2259,X2260,X2261,X2262,X2263,X2264,X2265,X2266,X2267,X2268,X2269,X2269,X2270,X2271,X2272,X2273,X2274,X2275,X2276,X2277,X2278,X2279,X2279,X2280,X2281,X2282,X2283,X2284,X2285,X2286,X2287,X2288,X2289,X2289,X2290,X2291,X2292,X2293,X2294,X2295,X2296,X2297,X2298,X2299,X2299,X2300,X2301,X2302,X2303,X2304,X2305,X2306,X2307,X2308,X2309,X2309,X2310,X2311,X2312,X2313,X2314,X2315,X2316,X2317,X2318,X2319,X2319,X2320,X2321,X2322,X2323,X2324,X2325,X2326,X2327,X2328,X2329,X2329,X2330,X2331,X2332,X2333,X2334,X2335,X2336,X2337,X2338,X2339,X2339,X2340,X2341,X2342,X2343,X2344,X2345,X2346,X2347,X2348,X2349,X2349,X2350,X2351,X2352,X2353,X2354,X2355,X2356,X2357,X2358,X2359,X2359,X2360,X2361,X236
```

```

DEF1=0.0;DEF2=1.0
DEF=DEF1+DEF2
#K1=CT(22,10)DEF
#K1t=CT(23,14)DEF
18 FOR=AT(//,10X,'INTEGRAL((N(X)/N12(X))DA#',E14.7)
END

REAL FUNCTION ERFC(X)
READ X
LOGICAL UP
REAL Y,NORM
Y=X*1.41421356237309
UP=X.GT.0.
ERFC=2.*NORMAL(Y,UP)
RETURN
END

REAL FUNCTION NORMAL(X,UPPER)
LOGICAL UPPER
REAL X1
C DATE CODE: APRIL 27, 1980
C-----
C
C NORMAL : CALCULATES THE TAIL AREA OF THE STANDARDIZED NORMAL
C CURVE.
C
C 1/SQRT(2*PI)*INTEGRAL(EXP(-1/2)*(T**2))DT
C
C IF UPPER IS TRUE THE LIMITS OF INTEGRATION ARE X AND INFINITY.
C IF UPPER IS FALSE THE LIMITS ARE MINUS INFINITY AND X.
C
C IF X LIES IN THE CENTRAL AREA OF THE CURVE THE METHOD USED IS
C THE CONVERGENT SERIES:
C
C X + (X**3)/3 + (X**5)/(3*5) + (X**7)/(3*5*7) + ...
C
C IF X LIES ON ONE OF THE TAILS THE METHOD USED IS THE CONTINUOUS
C FRACTION:
C
C 1/X + (1/X + (2/X + (3/X + (4/X + ...
C
C ORIGINAL : JAMES A. GREENFIELD
C COPYRIGHT BY TECHNOLOGY MODELING ASSOCIATES
C-----APRIL 27, 1980
C-----APRIL 27, 1980
C
C LOCAL VARIABLES
C-----REAL X,X2,Y,B,M,S,T,P1,P2,Q1,Q2
C-----START OF NORMAL
C-----IF (X.LT.0.) GOTO 1
NORM=0.5
RETURN
C-----1 X=ABS(X)
IF(X.GE.10.) GOTO 12

```

```

X2=X*X
Y=0.3989422801014*EXP((-0.5)*X2)
N=1/X
C      0.3989422801014=1/SQRT(2*PI)
C
IF((.NOT.UPPER).AND.(1.-N.E0.1.)) GOTO 10
IF ((UPPER),AND.(0.E0.9.)) GOTO 11
C
2   IF(X.LE.2.32) GOTO 7
IF(.NOT.UPPER).AND.(X.LE.3.5)) GOTO 7
Q1=X
Q2=X2+1.
P1=Y
P2=Y*X
N=1.
IF(UPPER) GOTO 3
S=1.-P1/Q1
T=1.+P2/Q2
GOTO 4
3   S=P1/Q1
T=Z/Q2
N=S
C
5   IF((N.NE.T).AND.(S.NE.T)) GOTO 6
NORMAL=T
RETURN
6   N=N+1.
S=X*P2+N*P1
P1=P2
P2=S
S=X*Q2+N*Q1
W1=W2
Q2=S
S=N
N=1
T=P2/Q2
IF(.NOT.UPPER) T=1.-T
GOTO 5
C
7   H=Y*X
S=N
N=1.
T=0.
8   IF(S.E0.T) GOTO 9
N=N+1.
T=S
N=N*X2/N
S=S+T
GOTO 8
C
9   IF(UPPER) S=-S
NORMAL=.5+S
RETURN
C
12  IF(UPPER) GOTO 11
10  NORMAL=1.
RETURN
C
11  NORMAL=0.
RETURN

```

APÊNDICE B

PROGRAMAS EM LINGUAGEM LPG PARA GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE MÁSCARAS

```

ARQUIVO[METRIP.ILB]
PAD,DPAD,VPAD,CT,EA,LH,DBC,X0,Y0
!PORTA I2L COM 6 COLETORES!
!
X0=ORIGEM EM X
Y0=ORIGEM EM Y
CT= DIMENSAO MINIMA DE ABERTURA DE CONTATO
DPAD= DISTANCIA VERTICAL ENTRE DOIS "PADS".
EA= ERRO DE ALINHAMENTO
LM= LARGURA MINIMA DE UMA LINHA DE METALIZACAO
DBC= DISTANCIA MINIMA ENTRE A BASE E O CONTATO DE EMISSOR
DE UM TRANSISTOR NPN
VPAD= DISTANCIA VERTICAL ENTRE DOIS "PADS"
PAD= DIMENSAO DO LADO DOS "PADS"
!
FIM
ARITMETICA
EM:=CT+4*EA;
LB:=EM+2*EA;
ISO:=2*EA;
DX:=2*EA;
LBINJ:=80;
GX:=0;
GY:=0;
LOC1:=1100;
LOC2:=100;
FE:=2*EA+CT;
A1:=EM+DX;
HH:=300;
VV:=1500;
L1:=130;
L2:=170;
L3:=65;
L4:=80;
L5:=40;
L6:=250;
L7:=210;
D1:=40;
D2:=65;
D3:=CT+2*EA+L3;
D4:=D3+LM;
D5:=D3-LM+2*EA;
D6:=D5-LM;
D7:=D3-D1;
CB:=3*CT;
X1:=PAD+(PAD-LB)/2;
X2:=PAD+DPAD=EA;
Y2:=PAD+DBAD;
X3:=X1+DX;
LEMI:=EM+BX;
X4:=X2+DX;
COMP:=LBINJ+5*LEMI;
X5:=X2+COMP+DX;
X6:=X3+DX;
X7:=X4+DX;
X8:=2*PAD;
DL:=PAD-LH;
Y9:=2*(PAD+DPAD);
P1:=2*LH;
D40:=D4-LH;
*

```

```
Y10:=3*(PAD+DPAD);
X15:=X1-30;
Y15:=X2-30;
X16:=X15+DX;
Y16:=Y15+DX;
YSIS01:=COMP+10*DX;
XIS01:=LB+6*DX;
XIS02:=XIS01-2*DX;
YSIS02:=YSIS01-2*DX;
B2:=X5+DX;
X10:=(6*LEMI+2*DX)+X2;
FIM
DECLARACAO
FIGURA ISOLA:=(3:X15,Y15;XIS01;YSIS01;-XIS01)/
(3:X16,Y16;XIS02;YSIS02;-XIS02);
FIGURA BASE:=(4:X1,X2;LB;COMP;-LB)/(4:X1,X5;LB;EM;-LB);
FIGURA EMISSOR:=(5:X3,X4;EM;EM;-EM);
TRANSF AA:=X0;LEMI;
TRANSF ETA:=LOC2;LOC1;
FIGURA CONTATO:=(6:X6,X7;CT;CT;-CT);
FIGURA CONTRA:= (6:X3,B2;EM;CT;-EM)/(6:X3,X10;CB;CT;-CB);
FIGURA METAL:=(7:X0,Y0;PAD;DL;D1;L2;D7;FE;-D2;-L2;-LM;X0;-PAD)/
(7:X8,Y0;PAD;PAD;-PAD;X0;-LM;L1;-D2;-FE;D7;-L1;01)/
(7:X0,Y2;PAD;DL;D3;FE;-D3;X0;-PAD)/
(7:X8,Y2;PAD;PAD;-PAD;-P1;-D3;-FE;D3)/
(7:X0,Y9;DL;-LS;D4;FE;-D40;LM;X0;PAD;-PAD)/
(7:X8,Y9;X0;PAD;PAD;-PAD;-DL;-L4;-D4;FE;D40)/
(7:X0,Y10;X0;PAD;PAD;-DL;P1;-L7;D6;-FE;-D5;L7)/
(7:X8,Y10;PAD;PAD;-PAD;-DL;-P1;-L6;-D6;-FE;D5;L6);
FIM
PROCEDIMENTO
BB:=AA[EMISSOR#CONTATO]@6#BASE;
TA:=BB#CONTRA#METAL#ISOLA;
SAI:=ETA[TA];
PLOTE 3/4/5/6/7, TA(GX,GY), SAI(GX,GY);
FIM
```

```
!RESISTIVIDADE DE EMISSOR!
ARQUIVO[NETEIP.ILB]
PAD,DPAD,VPAD,CT,EA,LM,EM,ODC,X0,Y0
FIM
ARITMETICA
L0:=CT+4*EA;
X1:=PAD/2-CT/2-2*EA;
Y1:=PAD-VPAD/2-L0/2;
L2:=DPAD+DPAD/2+L0/2=X1;
L3:=Y1-PAD+CT+4*EA;
L4:=X1;
X2:=X1+2*EA;
Y2:=Y1+2*EA;
X3:=PAD+DPAD/2+3*EA;
Y3:=X2;
X4:=2*L2+E0-(CT+4*EA);
Y4:=Y2;
X5:=X3;
Y5:=X4;
X6:=PAD+DPAD;
Y6:=Y0;
X7:=X6;
Y7:=PAD+VPAD;
X8:=X0;
Y8:=X7;
P1:=2*PAD+DPAD;
P2:=2*PAD+VPAD;
FIM
DECLARACAO
FIGURA DIF:=(5:X1,Y1;L2;-L2;L0;L2;L2;L0;-L2;L2;-L0;-L2;-L2);
FIGURA CONT:=(6:X2,Y2;CT;CT;-CT)/(6:X3,Y3;CT;CT;-CT);
(6:X4,Y4;CT;CT;-CT)/(6:X5,Y5;CT;CT;-CT);
FIGURA METAL:=(7:X0,Y0;PAD;PAD;-L4;L3;-L0;-L3;-L4)/
(7:X6,Y5;PAD;PAD;-PAD;-L4;-L3;-L0;L3)/
(7:X7,Y7;L4;-L3;L0;L3;L4;PAD;-PAD)/
(7:X8,Y8;PAD;L4;L3;L0;-L3;L4;-PAD);
FIGURA SUS:=(4:X0,Y0;P1;P2;-P1);
FIM
PROCEDIMENTO
RESIST:=DIF*CONT*METAL*SUS;
PLOTE 3/4/5/6/7, RESIST;
FIM
```

```
!RESISTIVIDADE DE BASE!
ARQUIVO[METALIP.ILB]
PAD,DPAD,VPAD,CT,EA,L0,EM,DBC,X0,Y0
FIM
ARITMETICA
L0:=CT+4*EA;
X1:=PAD/2+CT/2-2*EA;
Y1:=PAD-VPAD/2-L0/2;
L2:=DPAD+DPAD/2+L0/2-X1;
L3:=Y1-PAD+CT+4*EA;
L4:=X1;
X2:=X1+2*EA;
Y2:=Y1+2*EA;
X3:=PAD+DPAD/2+3*EA;
Y3=X2;
X4:=2*L2+L0-(CT+4*EA);
Y4=Y2;
X5=X3;
Y5=X4;
X6:=PAD+DBAD;
Y6:=Y0;
X7=X6;
Y7:=PAD+VPAD;
X8:=X0;
Y8:=X7;
FIM
DECLARACAO
FIGURA DIF:=(4:X1,Y1;L2;-L2;L0;L2;L0;-L2;L2;-L0;-L2;-L2);
FIGURA CONT:=(6:X2,Y2;CT;CT;-CT)/(6:X3,Y3;CT;CT;-CT);
(6:X4,Y4;CT;CT;-CT)/(6:X5,Y5;CT;CT;-CT);
FIGURA METAL:=(7:X0,Y0;PAD;PAD;-L4;L3;-L0;-L3;-L4)/
(7:X6,Y5;PAD;PAD;-L4;-L3;-L0;L3)/
(7:X7,Y7;L4;-L3;L0;L3;L4;PAD;-PAD)/
(7:X8,Y8;PAD;L4;L3;L0;-L3;L4;-PAD);
FIM
PROCEDIMENTO
RESIST:=DIF*CONT*METAL;
PLUTE 3/4/5/6/7, RESIST;
FIM
```

!RESISTENCIA DE CONTATO DE BASE!
ARQUIVO[LNETSIP.ILB]
PAD,DPAD,VPAD,CT,EA,L^M,EM,DBC,X0,Y0
FIM
ARITMETICA
X1:=PAD+PAD/2-CT/2;
Y1:=PAD+VPAD/2-CT/2;
Y2:=PAD+VPAD+PAD/2-CT/2-EA;
X2:=PAD-CT+4*EA;
L1:=CT+4*EA;DPAD/2-CT/2-2*EA;
L2:=VPAD+PAD;
L3:=L1+4*EA+CT;
L4:=CT+2*2A;
K1:=VPAD/2-CT/2-3*EA;
K2:=PAD+DPAD;
K3:=PAD/2+3*EA-CT/2;
K4:=K1+CT+6*EA;
M1:=PAD+DPAD;
M2:=PAD+VPAD;
P1:=2*PAD+DPAD;
P2:=2*PAD+VPAD;
X3:=X2+EA;
Y3:=Y2+EA;
X4:=PAD+DPAD+2*EA;
X4:=PAD/2+CT/2;
FIM
DECLARACAO
FIGURA METAL:=(7:X0,Y0;PAD;PAD;-K3;K1;K2;K4;K3;PAD;
-PAD;-PAD;K3;-K1;-K2;-K4;-K3);
FIGURA CONT:=(6:X1,Y1;CT;CT;-CT)/(6:X3,Y3;CT;CT;-CT)/
(6:X4,Y4;CT;CT;-CT);
FIGURA AAA:=(7:X0,Y0;PAD;PAD;-PAD);
TRANSF T1:=M1;0;
TRANSF T2:=0;M2;
FIGURA DIF:=(4:X2,Y2;L1;-L2;L3;L4;-L1;L2;-L3);
FIM
PROCEDIMENTO
BACON:=METAL#CONT#T1[AAA]#T2[AAA]#DIF;
PLOTE 3/4/5/6/7, BACON;
FIM


```
!RESISTIVIDADE DE BASE SOB EMISSOR!
ARQUIVO[NETBIP.ILB]
PAD,DPAD,VPAD,CT,EA,LM,EM,DBC,X0,Y0
FIM
ARITMETICA
L0:=CT+4*EA;
X1:=PAD/2-CT/2-2*EA;
Y1:=PAD-VPAD/2-L0/2;
L2:=UPAD+DPAD/2+L0/2-X1;
L3:=Y1-PAD+CT+4*EA;
L4:=X1;
X2:=X1+2*EA;
Y2:=Y1+2*EA;
X3:=PAD+DPAD/2+3*EA;
Y3:=X2;
X4:=2*L2+L0-(CT+4*EA);
Y4:=Y2;
X5:=X3;
Y5:=X4;
X6:=PAD+DPAD;
Y6:=Y0;
X7:=X6;
Y7:=PAD+VPAD;
X8:=X0;
Y8:=X7;
Z0:=4*L0;
XA:=PAD+DPAD/2-2*L0;
YA:=XA;
FIM
DECLARACAO
FIGURA DIF:=(4:X1,Y1;L2;-L2;L0;L2;L2;L0;-L2;L2;-L0;-L2;-L2);
FIGURA CONT:=(6:X2,Y2;CT;CT;-CT)/(6:X3,Y3;CT;CT;-CT)/
(6:X4,Y4;CT;CT;-CT)/(6:X5,Y5;CT;CT;-CT);
FIGURA METAL:=(7:X0,Y0;PAD;PAD;-L4;L3;-L0;-L3;-L4)/
(7:X6,Y5;PAD;PAD;-PAD;-L4;-L3;-L0;L3)/
(7:X7,Y7;L4;-L3;L0;L3;L4;PAD;-PAD)/
(7:X8,Y8;PAD;L4;L3;L0;-L3;L4;-PAD);
FIGURA EMI:=(5:XA,YA;Z0;Z0;-Z0);
FIM
PROCEDIMENTO
RESIST:=DIF*CONT*METAL*EMI;
PLOTE 3/4/5/6/7, RESIST;
FIM
```

```

!RESISTENCIA DE CONTATO DE EMISSOR!
ARQUIVO(METHIP.ILB)
PAD,DPAD,VPAD,CT,EA,LM,EM,DSC,X0,Y0
FIM
ARITMETICA
X1:=PAD+PAD/2-CT/2;
Y1:=PAD+VPAD/2-CT/2;
Y2:=PAD+VPAD+PAD/2-CT/2-EA;
X2:=PAD-CT+4*EA;
L1:=CT+4*EA;DPAD/2-CT/2-2*EA;
L2:=VPAD+PAU;
L3:=L1+4*EA+CT;
L4:=CT+2*2A;
K1:=VPAD/2-CT/2-3*EA;
K2:=PAU+DPAD;
K3:=PAD/2+3*EA-CT/2;
K4:=K1+CT+6*EA;
M1:=PAD+DPAD;
M2:=PAU+VPAD;
P1:=2*PAD+DPAD;
P2:=2*PAU+VPAD;
X3:=X2+EA;
Y3:=Y2+EA;
X4:=PAD+DPAD+2*EA;
Y4:=PAD/2+CT/2;
FIM
DECLARACAO
FIGURA METAL:=(7:X0,Y0;PAD;PAD;-K3;K1;K2;K4;K3;PAD;
-PAD;-PAU;K3;-K1;-K2;-K4;-K3);
FIGURA CONT:=(6:X1,Y1;CT;CT;-CT)/(6:X3,Y3;CT;CT;-CT)/
(6:X4,Y4;CT;CT;-CT);
FIGURA AAA:=(7:X0,Y0;PAD;PAD;-PAD);
TRANSF T1:=M1;0;
TRANSF T2:=0;M2;
FIGURA DIE:=(5:X2,Y2;L1;-L2;L3;L4;-L1;L2;-L3);
FIGURA BASE:=(4:X0,Y0;P1;P2;-P1);
FIM
PROCEDIMENTO
ECON:=METAL#CONT*T1[AAA]*T2[AAA]*DIF#BASE;
PLOTE 3/4/5/6/7, ECON;
FIM

```

```

!MARCAS DE ALINHAMENTO!
ARQUIVO[NETBIP.ILB]
PAU,DPAD,VPAD,CT,EA,LN,EM,DBC,X0,Y0
FIM
ARITMETICA
L1:=100;
DX:=25;
L2:=50;
DIS:=50;
LA:=90;
LB:=60;
LOC1:=1400;
LOC2:=2250;
GX:=0;
GY:=0;
D1:=L1+DIS;
D2:=2*D1;
D3:=3*D1;
D4:=4*D1;
D5:=5*D1;
X0:=0;
Y0:=0;
X1:=X0+DX;
Y1:=Y0+DX;
W0:=X0+EA;
Z0:=Y0+EA;
W1:=X1-EA;
Z1:=Y1-EA;
FIM
DECLARACAO
FIGURA NMAIS:=(3:X0,Y0;L1;L1;-L1)/(3:X1,Y1;L2;L2;-L2);
FIGURA BASEL:=(4:X0,Y0;L1;L1;-L1)/(4:X1,Y1;L2;L2;-L2);
FIGURA BASEH:=(4:w0,Z0;LA;LA;-LA)/(4:w1,Z1;LB;LB;-LB);
FIGURA EMISSORL:=(5:X0,Y0;L1;L1;-L1)/(5:X1,Y1;L2;L2;-L2);
FIGURA EMISSORH:=(5:w0,Z0;LA;LA;-LA)/(5:w1,Z1;LB;LB;-LB);
FIGURA CONTI:=(6:X0,Y0;L1;L1;-L1)/(6:X1,Y1;L2;L2;-L2);
FIGURA CONTH:=(6:w0,Z0;LA;LA;-LA)/(6:w1,Z1;LB;LB;-LB);
FIGURA MET:=(7:w0,Z0;LA;LA;-LA)/(7:w1,Z1;LB;LB;-LB);
TRANSF CIMA:=LOC1;LOC2;
TRANSF REP:=0;2500;
TRANSF K1:=D1;X0;
TRANSF K2:=D2;X0;
TRANSF K3:=D3;X0;
TRANSF K4:=D4;X0;
TRANSF K5:=D5;X0;
FIM
PROCEDIMENTO
TRES:=K1[NMAIS]@2;
QUATROA:=BASEH*K2[BASEL];
QUATROB:=K3[BASEL]*K1[K1[BASEH]@2];
CINCO:=K3[EMISSORH]*K4[EMISSORL];
SEIS:=K4[CONTH]*K5[CONTI];
SETE:=K5[MET];
SAI4:=TRES#QUATROA#CINCO#SEIS#SETE;
SAI:=REP[CIMA[SAI4]]@2;
BSAI4:=REP[CIMA[QUATROB]]@2;
PLOTE 3/4/5/6/7, SAI(GX,GY), BSAI4(GX,GY);
FIM

```

```

!TESTE DE ABERTURA DE CONTATO!
APQUIVO(METBIP,ILM)
PAD,DPAU,VPAU,CT,EA,LH,EM,DBC,X0,Y0
FIM
ARITMETICA
LB:=CT+8*EA;
CB:=2*LB;
LAT:=50+LB;
UP:=(CB+EM);
LOC1:=1225;
LOC2:=100;
LTIRA:=30;
CTIRA:=EM+4*EA+2*CT;
CX:=3*EA;
CY:=3*EA;
CY1:=CB-CY;
X0:=0;
Y0:=0;
HY:=CB-(2*EA+CT);
FIM
DECLARACAO
FIGURA BASE:=(4:X0,Y0;LB;CB:-LB)/(6:CX,CY;CT;CT;~CT)/(6:CX,CY1;CT;CT;~CT);
FIGURA TIRAI:=(7:EA,HY;LTIRA;CTIRA;-LTIRA);
TRANSF REP:=X0;LOC2;
TRANSF REP2:=UP;Y0;
TRANSF CIMA:=LOC1;LOC2;
FIGURA UNIAO:=(7:75,0;150;150;=150;=120;=70;=30)/
(7:75,350;0;=100;PAD;PAD;=PAD;=20;=160;=30)/
(7:-175,0;120;30;=120)/
(7:250,0;275;PAD;=PAD;LPAD;=100;425;=450;=70;=90;=30)/
(7:-355,0;120;30;=120)/
(7:-445,350;120;30;=120)/
(7:375,250;PAD;PAD;=LPAD;100;=890;=500;75;30;=50;445;840);FIM
PROCEDIMENTO
X1:=REP[BASE]@4;
X2:=REP2[X1]@6;
X3:=REP[TIRAI]@3;
X4:=REP2[X3]@6;
CONTI:=X2#UNIAU#X4;
SAI:=CIMA[CONTI];
PLOTE 3/4/5/6/7, SAI;
FIM

```

APÊNDICE C

FICHA DE PROGRAMA DE PROCESSAMENTO

**FICHA DE PROGRAMA DE PROCESSAMENTO
(FOLHA DE CONTINUAÇÃO)**

OSLD n.º 1247
Página 2 de 2

Etapa	Descrição	Número da IEP	Destinações	Término do período	Oras	Ass.
0.800	LIMPETAS e DIFUSÃO DE FOSFORO	LP-002	A, B e C	→ LP-002	12:00	
0.900	Difusão de fósforo - 1050°C, 40 minutos	DE-003	A, B e C	12:50	12:50	
1.000	Remoção do fosforo silicato	LP-005	A, B e C	13:00	13:00	
1.100	RENTRAÇAO DE FOSFORO - 900°C, 60 minutos	DE-	A, B e C	13:30	13:30	
1.200	Cantar D em 2 ciclos: D1 e D2	D				
1.300	Estabilização 1148°C - DE-026 - 097	EL-025	A, B e C	14:00	14:00	
1.400	Remoção do óxido	EL-023	A, B e C	14:15	14:15	
1.500	Remoção do óxido Kfref	LP-002	Todas	14:30	14:30	
1.600	Limpetras para adição de boro	LP-003	LP-003	14:45	14:45	
1.700	Deslidação de boro - 900°C, 50 minutos	DE-002	Todas	15:00	15:00	
1.800	Remoção do borosilicato	LP-003	LP-003	15:15	15:15	
1.900	MENDA VIT (LIGERADA: 13.8°)	DE-002	Todas	15:30	15:30	
2.000	RENTRAÇAO DE BORO - 1150°C, 45 minutos	DE-002	Todas	15:45	15:45	
2.100	Geração do óxido	EL-005	Sí em D1	16:00	16:00	
2.200	MENDA de VIT (ESTERADO: 25.8°)	EL-005	Sí em D1	16:15	16:15	
2.300	MENDA de XT (ESTERADO: 26.8°)	AD-008		16:30	16:30	
2.400	FAZENDA QD: MATA D1E-6.922-003	EL-005	A, B e C	16:45	16:45	
2.500	Remoção do óxido	EL-003	A, B e C	17:00	17:00	
2.600	Remoções do óxido	EL-003	A, B e C	17:15	17:15	
2.700	Limpetra CITA TESUŠO	LP-002	Todas	17:30	17:30	
2.800	DE-220 (AO DE BORO: 900°C, 60 minutos)	DE-000	Todas: manutenção	17:45	17:45	
2.900	Remoção do borosilicato	LP-003	"	17:55	17:55	
3.000	MENDA DE VIT (ESTERADO: 15.8°)	SD em D2	"	18:00	18:00	
3.100	RENTRAÇAO DE BORO: 1150°C, 30 minutos	DE-002	Todas	18:15	18:15	
3.200	Remoção do óxido	EL-005	D1 e D2	18:30	18:30	

FICHA DE PROGRAMA DE PROCESSAMENTO
(FOLHA DE CONTINUAÇÃO)

OSLDm 1247
Página 3 de 3

Etapa	Descrição	Número da IEP	Observações	D1 e D2	Tempo de execução	Data	Ano
33.00	MEDIDA V/I (D1=4,5Ω D2=4,8Ω)				01:53	12/11/81	80
34.00	MEDIDA X/J (D1= 3,3Ωm D2= 3,0Ωm)	M.D-033		D1 e D2	01:53	12/11/81	80
35.00	FOTOCRAVACÃO MASC - D1/F = R4,23-0,839			A, B e C	10:13:22	12/11/81	81
36.00	REMOCÃO DO ÓXIDO	FL-005		"	0:07:15	12/11/81	81
37.00	" " KTR R	FL-003		"	0:07:15	12/11/81	81
38.00	LIMPEZA V/I S. EUAÇAO	KP-002		Taches	0:13:11:05	12/11/81	81
39.00	DESESSAÚDE FISIÁRIO : IOSC/C, 30minutos	DF-003		"	0:13:11:05	12/11/81	81
40.00	REMOVEDOR DE RESINAS SILICATI	KP-005		"	11:05:11:25	13/11/81	81
41.00	MEDIDA V/I (EMPÉRADO : 0,5 Ω)			D1 e D2	0:25:17	12/11/81	81
42.00	MEDIDA X/J (EMPÉRADO : 2,0Ωm)	M.D-008		"			
43.00	REMOCÃO DE FOSFORO : 90°C, 30min	DF-	Taches	"	0:25:17	12/11/81	81
44.00	REMOCÃO NO ÓXIDO	FL-005	SD	D1 e D2	0:25:17	12/11/81	81
45.00	MEDIDA V/I (SÉGERADO : 0,18 Ω)			"	0:25:17	12/11/81	81
46.00	MEDIDA X/J (D1: 2,5/3,5m - 32/26/3,0m)	M.D-009		"	0:25:17	12/11/81	81
47.00	FOTOCRAVACÃO D1/G - R4,29-160			A,B e C	12:20:06	12/11/81	81
48.00	LIMPEZA V/I METALIZAÇÃO			"	12:20:06	12/11/81	81
49.00	DESESSAÚDE ALU ALUMÍNIO (1 fm)			"	12:20:06	12/11/81	81
50.00	SUCESSO FOTOCRAVACÃO EM ALUMÍNIO-D1H-R30-01			"	12:20:06	12/11/81	81
51.00	REMOCÃO AZORELATE	FL-012		"	12:20:06	12/11/81	81
52.00	RECOZIMENTO			"	12:20:06	12/11/81	81

FICHA DE PROCESSAMENTO E CONTROLE		OSL Dose 1245																																																																																																																																								
Página	de	1																																																																																																																																								
Etapa	100	De posso cônus de	Boro																																																																																																																																							
Material Necessário		Recomendações de Segurança																																																																																																																																								
<table border="1"> <tr><td>1</td><td>6</td><td>11</td><td>16</td><td>21</td><td>26</td><td>31</td><td>36</td><td>41</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td><td>12</td><td>17</td><td>22</td><td>27</td><td>32</td><td>37</td><td>42</td></tr> <tr><td>3</td><td>8</td><td>13</td><td>18</td><td>23</td><td>28</td><td>33</td><td>38</td><td>43</td></tr> <tr><td>4</td><td>9</td><td>14</td><td>19</td><td>24</td><td>29</td><td>34</td><td>39</td><td>44</td></tr> <tr><td>5</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>45</td></tr> </table>		1	6	11	16	21	26	31	36	41	2	7	12	17	22	27	32	37	42	3	8	13	18	23	28	33	38	43	4	9	14	19	24	29	34	39	44	5	10	15	20	25	30	35	40	45	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>6</td><td>11</td><td>16</td><td>21</td><td>26</td><td>31</td><td>36</td><td>41</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td><td>12</td><td>17</td><td>22</td><td>27</td><td>32</td><td>37</td><td>42</td></tr> <tr><td>3</td><td>8</td><td>13</td><td>18</td><td>23</td><td>28</td><td>33</td><td>38</td><td>43</td></tr> <tr><td>4</td><td>9</td><td>14</td><td>19</td><td>24</td><td>29</td><td>34</td><td>39</td><td>44</td></tr> <tr><td>5</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>45</td></tr> <tr><td>6</td><td>11</td><td>16</td><td>21</td><td>26</td><td>31</td><td>36</td><td>41</td><td>46</td></tr> <tr><td>7</td><td>12</td><td>17</td><td>22</td><td>27</td><td>32</td><td>37</td><td>42</td><td>47</td></tr> <tr><td>8</td><td>13</td><td>18</td><td>23</td><td>28</td><td>33</td><td>38</td><td>43</td><td>48</td></tr> <tr><td>9</td><td>14</td><td>19</td><td>24</td><td>29</td><td>34</td><td>39</td><td>44</td><td>49</td></tr> <tr><td>10</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>45</td><td>50</td></tr> </table>		1	6	11	16	21	26	31	36	41	2	7	12	17	22	27	32	37	42	3	8	13	18	23	28	33	38	43	4	9	14	19	24	29	34	39	44	5	10	15	20	25	30	35	40	45	6	11	16	21	26	31	36	41	46	7	12	17	22	27	32	37	42	47	8	13	18	23	28	33	38	43	48	9	14	19	24	29	34	39	44	49	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	6	11	16	21	26	31	36	41																																																																																																																																		
2	7	12	17	22	27	32	37	42																																																																																																																																		
3	8	13	18	23	28	33	38	43																																																																																																																																		
4	9	14	19	24	29	34	39	44																																																																																																																																		
5	10	15	20	25	30	35	40	45																																																																																																																																		
1	6	11	16	21	26	31	36	41																																																																																																																																		
2	7	12	17	22	27	32	37	42																																																																																																																																		
3	8	13	18	23	28	33	38	43																																																																																																																																		
4	9	14	19	24	29	34	39	44																																																																																																																																		
5	10	15	20	25	30	35	40	45																																																																																																																																		
6	11	16	21	26	31	36	41	46																																																																																																																																		
7	12	17	22	27	32	37	42	47																																																																																																																																		
8	13	18	23	28	33	38	43	48																																																																																																																																		
9	14	19	24	29	34	39	44	49																																																																																																																																		
10	15	20	25	30	35	40	45	50																																																																																																																																		
Procedimento		Observações																																																																																																																																								
Condições de Execução																																																																																																																																										
Sub-Etapa																																																																																																																																										
+ = 960°C		t = 50 min																																																																																																																																								
Ativação das lâminas de B + t = 30'																																																																																																																																										
BF - 5' φ N2 1L/min																																																																																																																																										
+ - 5' " "																																																																																																																																										
CF - 50° φ N2 "																																																																																																																																										
CF - 10° φ O2 1L/min																																																																																																																																										
+ - 5' φ N2 1L/min																																																																																																																																										
BF - 5' φ N2 1L/min																																																																																																																																										
Posição das lâminas		Fábrica - Nitro																																																																																																																																								
S&S 09 →		N2																																																																																																																																								
B50 → COCO DI		12/11/81																																																																																																																																								

FICHA DE PROCESSAMENTO E CONTROLE		OSL Dne 12/3	
Etapa no Material Necessário	de	Página 1 de	
2902 - Penetração de óleo		Recomendações de Segurança	
		 Recomendações de Segurança 1. Usar óculos de proteção. 2. Usar máscara de proteção. 3. Usar luvas de proteção. 4. Manter distância segura. 5. Evitar respirar fumaça. 6. Manter ambiente bem ventilado. 7. Manter distância segura. 8. Usar óculos de proteção. 9. Usar máscara de proteção. 10. Usar luvas de proteção. 11. Manter ambiente bem ventilado. 12. Manter distância segura. 13. Usar óculos de proteção. 14. Usar máscara de proteção. 15. Usar luvas de proteção. 16. Manter ambiente bem ventilado. 17. Manter distância segura. 18. Usar óculos de proteção. 19. Usar máscara de proteção. 20. Usar luvas de proteção. 21. Manter ambiente bem ventilado. 22. Manter distância segura. 23. Usar óculos de proteção. 24. Usar máscara de proteção. 25. Usar luvas de proteção.	
Procedimento	Sub-Etapa	Condições da Execução	Observações
		$t = 1150^\circ C$	$t = 45'$
		OF - 5' 02 min back 11,2	
		+ - 5' 0 0 0	
		CF - 45' 0 0 0	
		+ - 5' 0 0 0	
		BF - 5' 0 0 0	
Vapor d'água durante todo o processo. O sistema foi desligado 4' antes do finalizar o tempo no CF.			
12/2/81			
Ric.			
ES			

FICHA DE PROCESSAMENTO E CONTROLE		O S L D n° 1249																																																																																											
Etapa n°	3900 Deposição de fósforo	Página	1 de 1																																																																																										
Material Necessário		Recomendações da Segurança																																																																																											
<table border="1"> <tr><td>1</td><td>6</td><td>11</td><td>16</td><td>21</td><td>26</td><td>31</td><td>36</td><td>41</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td><td>12</td><td>17</td><td>22</td><td>27</td><td>32</td><td>37</td><td>42</td></tr> <tr><td>3</td><td>8</td><td>13</td><td>18</td><td>23</td><td>28</td><td>33</td><td>38</td><td>43</td></tr> <tr><td>4</td><td>9</td><td>14</td><td>19</td><td>24</td><td>29</td><td>34</td><td>39</td><td>44</td></tr> <tr><td>5</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>45</td></tr> </table>		1	6	11	16	21	26	31	36	41	2	7	12	17	22	27	32	37	42	3	8	13	18	23	28	33	38	43	4	9	14	19	24	29	34	39	44	5	10	15	20	25	30	35	40	45	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>6</td><td>11</td><td>16</td><td>21</td><td>26</td><td>31</td><td>36</td><td>41</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td><td>12</td><td>17</td><td>22</td><td>27</td><td>32</td><td>37</td><td>42</td></tr> <tr><td>3</td><td>8</td><td>13</td><td>18</td><td>23</td><td>28</td><td>33</td><td>38</td><td>43</td></tr> <tr><td>4</td><td>9</td><td>14</td><td>19</td><td>24</td><td>29</td><td>34</td><td>39</td><td>44</td></tr> <tr><td>5</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>30</td><td>35</td><td>40</td><td>45</td></tr> </table>		1	6	11	16	21	26	31	36	41	2	7	12	17	22	27	32	37	42	3	8	13	18	23	28	33	38	43	4	9	14	19	24	29	34	39	44	5	10	15	20	25	30	35	40	45
1	6	11	16	21	26	31	36	41																																																																																					
2	7	12	17	22	27	32	37	42																																																																																					
3	8	13	18	23	28	33	38	43																																																																																					
4	9	14	19	24	29	34	39	44																																																																																					
5	10	15	20	25	30	35	40	45																																																																																					
1	6	11	16	21	26	31	36	41																																																																																					
2	7	12	17	22	27	32	37	42																																																																																					
3	8	13	18	23	28	33	38	43																																																																																					
4	9	14	19	24	29	34	39	44																																																																																					
5	10	15	20	25	30	35	40	45																																																																																					
Procedimento		Observações																																																																																											
Sub-Etapa	Condições de Execução																																																																																												
	$T = 1050^{\circ}C$																																																																																												
<p>Solução do fórmico e $PCl_3 \Rightarrow 30'$</p> <p>Bf - 5 ϕ N_2 16 min (at 10) O_2 200 ml/min (at 14.2)</p> <p>t - idem BF.</p> <p>CF - 20' ϕ N_2 + C_2 + $N_2(POCl_3) \Rightarrow$ 10ml (at 9.5)</p> <p>CF - 10' ϕ N_2 + O_2</p> <p>t - 3' ϕ N_2</p> <p>CF - 5' ϕ N_2</p>																																																																																													
<p>Ricardo 13/11/81</p> <p>PP</p>																																																																																													
Laboratório de Eletrônica e Dispositivos FEC UNICAMP																																																																																													
Via Laboratório																																																																																													

FICHA DE PROCESSAMENTO E CONTROLE		OSL Dm 24	Página 1 de 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Etapa nº 4000 C - 4200	Revisão: 05/05/2010 / Versão: 01/01/2010																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Material Necessário																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <tr><td>1</td><td>6</td><td>11</td><td>16</td><td>21</td><td>26</td><td>31</td><td>36</td><td>41</td><td>46</td><td>51</td><td>56</td><td>61</td><td>66</td><td>71</td><td>76</td><td>81</td><td>86</td><td>91</td><td>96</td><td>101</td><td>106</td><td>111</td><td>116</td><td>121</td><td>126</td><td>131</td><td>136</td><td>141</td><td>146</td><td>151</td><td>156</td><td>161</td><td>166</td><td>171</td><td>176</td><td>181</td><td>186</td><td>191</td><td>196</td><td>201</td><td>206</td><td>211</td><td>216</td><td>221</td><td>226</td><td>231</td><td>236</td><td>241</td><td>246</td><td>251</td><td>256</td><td>261</td><td>266</td><td>271</td><td>276</td><td>281</td><td>286</td><td>291</td><td>296</td><td>301</td><td>306</td><td>311</td><td>316</td><td>321</td><td>326</td><td>331</td><td>336</td><td>341</td><td>346</td><td>351</td><td>356</td><td>361</td><td>366</td><td>371</td><td>376</td><td>381</td><td>386</td><td>391</td><td>396</td><td>401</td><td>406</td><td>411</td><td>416</td><td>421</td><td>426</td><td>431</td><td>436</td><td>441</td><td>446</td><td>451</td><td>456</td><td>461</td><td>466</td><td>471</td><td>476</td><td>481</td><td>486</td><td>491</td><td>496</td><td>501</td><td>506</td><td>511</td><td>516</td><td>521</td><td>526</td><td>531</td><td>536</td><td>541</td><td>546</td><td>551</td><td>556</td><td>561</td><td>566</td><td>571</td><td>576</td><td>581</td><td>586</td><td>591</td><td>596</td><td>601</td><td>606</td><td>611</td><td>616</td><td>621</td><td>626</td><td>631</td><td>636</td><td>641</td><td>646</td><td>651</td><td>656</td><td>661</td><td>666</td><td>671</td><td>676</td><td>681</td><td>686</td><td>691</td><td>696</td><td>701</td><td>706</td><td>711</td><td>716</td><td>721</td><td>726</td><td>731</td><td>736</td><td>741</td><td>746</td><td>751</td><td>756</td><td>761</td><td>766</td><td>771</td><td>776</td><td>781</td><td>786</td><td>791</td><td>796</td><td>801</td><td>806</td><td>811</td><td>816</td><td>821</td><td>826</td><td>831</td><td>836</td><td>841</td><td>846</td><td>851</td><td>856</td><td>861</td><td>866</td><td>871</td><td>876</td><td>881</td><td>886</td><td>891</td><td>896</td><td>901</td><td>906</td><td>911</td><td>916</td><td>921</td><td>926</td><td>931</td><td>936</td><td>941</td><td>946</td><td>951</td><td>956</td><td>961</td><td>966</td><td>971</td><td>976</td><td>981</td><td>986</td><td>991</td><td>996</td><td>1001</td><td>1006</td><td>1011</td><td>1016</td><td>1021</td><td>1026</td><td>1031</td><td>1036</td><td>1041</td><td>1046</td><td>1051</td><td>1056</td><td>1061</td><td>1066</td><td>1071</td><td>1076</td><td>1081</td><td>1086</td><td>1091</td><td>1096</td><td>1101</td><td>1106</td><td>1111</td><td>1116</td><td>1121</td><td>1126</td><td>1131</td><td>1136</td><td>1141</td><td>1146</td><td>1151</td><td>1156</td><td>1161</td><td>1166</td><td>1171</td><td>1176</td><td>1181</td><td>1186</td><td>1191</td><td>1196</td><td>1201</td><td>1206</td><td>1211</td><td>1216</td><td>1221</td><td>1226</td><td>1231</td><td>1236</td><td>1241</td><td>1246</td><td>1251</td><td>1256</td><td>1261</td><td>1266</td><td>1271</td><td>1276</td><td>1281</td><td>1286</td><td>1291</td><td>1296</td><td>1301</td><td>1306</td><td>1311</td><td>1316</td><td>1321</td><td>1326</td><td>1331</td><td>1336</td><td>1341</td><td>1346</td><td>1351</td><td>1356</td><td>1361</td><td>1366</td><td>1371</td><td>1376</td><td>1381</td><td>1386</td><td>1391</td><td>1396</td><td>1401</td><td>1406</td><td>1411</td><td>1416</td><td>1421</td><td>1426</td><td>1431</td><td>1436</td><td>1441</td><td>1446</td><td>1451</td><td>1456</td><td>1461</td><td>1466</td><td>1471</td><td>1476</td><td>1481</td><td>1486</td><td>1491</td><td>1496</td><td>1501</td><td>1506</td><td>1511</td><td>1516</td><td>1521</td><td>1526</td><td>1531</td><td>1536</td><td>1541</td><td>1546</td><td>1551</td><td>1556</td><td>1561</td><td>1566</td><td>1571</td><td>1576</td><td>1581</td><td>1586</td><td>1591</td><td>1596</td><td>1601</td><td>1606</td><td>1611</td><td>1616</td><td>1621</td><td>1626</td><td>1631</td><td>1636</td><td>1641</td><td>1646</td><td>1651</td><td>1656</td><td>1661</td><td>1666</td><td>1671</td><td>1676</td><td>1681</td><td>1686</td><td>1691</td><td>1696</td><td>1701</td><td>1706</td><td>1711</td><td>1716</td><td>1721</td><td>1726</td><td>1731</td><td>1736</td><td>1741</td><td>1746</td><td>1751</td><td>1756</td><td>1761</td><td>1766</td><td>1771</td><td>1776</td><td>1781</td><td>1786</td><td>1791</td><td>1796</td><td>1801</td><td>1806</td><td>1811</td><td>1816</td><td>1821</td><td>1826</td><td>1831</td><td>1836</td><td>1841</td><td>1846</td><td>1851</td><td>1856</td><td>1861</td><td>1866</td><td>1871</td><td>1876</td><td>1881</td><td>1886</td><td>1891</td><td>1896</td><td>1901</td><td>1906</td><td>1911</td><td>1916</td><td>1921</td><td>1926</td><td>1931</td><td>1936</td><td>1941</td><td>1946</td><td>1951</td><td>1956</td><td>1961</td><td>1966</td><td>1971</td><td>1976</td><td>1981</td><td>1986</td><td>1991</td><td>1996</td><td>2001</td><td>2006</td><td>2011</td><td>2016</td><td>2021</td><td>2026</td><td>2031</td><td>2036</td><td>2041</td><td>2046</td><td>2051</td><td>2056</td><td>2061</td><td>2066</td><td>2071</td><td>2076</td><td>2081</td><td>2086</td><td>2091</td><td>2096</td><td>2101</td><td>2106</td><td>2111</td><td>2116</td><td>2121</td><td>2126</td><td>2131</td><td>2136</td><td>2141</td><td>2146</td><td>2151</td><td>2156</td><td>2161</td><td>2166</td><td>2171</td><td>2176</td><td>2181</td><td>2186</td><td>2191</td><td>2196</td><td>2201</td><td>2206</td><td>2211</td><td>2216</td><td>2221</td><td>2226</td><td>2231</td><td>2236</td><td>2241</td><td>2246</td><td>2251</td><td>2256</td><td>2261</td><td>2266</td><td>2271</td><td>2276</td><td>2281</td><td>2286</td><td>2291</td><td>2296</td><td>2301</td><td>2306</td><td>2311</td><td>2316</td><td>2321</td><td>2326</td><td>2331</td><td>2336</td><td>2341</td><td>2346</td><td>2351</td><td>2356</td><td>2361</td><td>2366</td><td>2371</td><td>2376</td><td>2381</td><td>2386</td><td>2391</td><td>2396</td><td>2401</td><td>2406</td><td>2411</td><td>2416</td><td>2421</td><td>2426</td><td>2431</td><td>2436</td><td>2441</td><td>2446</td><td>2451</td><td>2456</td><td>2461</td><td>2466</td><td>2471</td><td>2476</td><td>2481</td><td>2486</td><td>2491</td><td>2496</td><td>2501</td><td>2506</td><td>2511</td><td>2516</td><td>2521</td><td>2526</td><td>2531</td><td>2536</td><td>2541</td><td>2546</td><td>2551</td><td>2556</td><td>2561</td><td>2566</td><td>2571</td><td>2576</td><td>2581</td><td>2586</td><td>2591</td><td>2596</td><td>2601</td><td>2606</td><td>2611</td><td>2616</td><td>2621</td><td>2626</td><td>2631</td><td>2636</td><td>2641</td><td>2646</td><td>2651</td><td>2656</td><td>2661</td><td>2666</td><td>2671</td><td>2676</td><td>2681</td><td>2686</td><td>2691</td><td>2696</td><td>2701</td><td>2706</td><td>2711</td><td>2716</td><td>2721</td><td>2726</td><td>2731</td><td>2736</td><td>2741</td><td>2746</td><td>2751</td><td>2756</td><td>2761</td><td>2766</td><td>2771</td><td>2776</td><td>2781</td><td>2786</td><td>2791</td><td>2796</td><td>2801</td><td>2806</td><td>2811</td><td>2816</td><td>2821</td><td>2826</td><td>2831</td><td>2836</td><td>2841</td><td>2846</td><td>2851</td><td>2856</td><td>2861</td><td>2866</td><td>2871</td><td>2876</td><td>2881</td><td>2886</td><td>2891</td><td>2896</td><td>2901</td><td>2906</td><td>2911</td><td>2916</td><td>2921</td><td>2926</td><td>2931</td><td>2936</td><td>2941</td><td>2946</td><td>2951</td><td>2956</td><td>2961</td><td>2966</td><td>2971</td><td>2976</td><td>2981</td><td>2986</td><td>2991</td><td>2996</td><td>3001</td><td>3006</td><td>3011</td><td>3016</td><td>3021</td><td>3026</td><td>3031</td><td>3036</td><td>3041</td><td>3046</td><td>3051</td><td>3056</td><td>3061</td><td>3066</td><td>3071</td><td>3076</td><td>3081</td><td>3086</td><td>3091</td><td>3096</td><td>3101</td><td>3106</td><td>3111</td><td>3116</td><td>3121</td><td>3126</td><td>3131</td><td>3136</td><td>3141</td><td>3146</td><td>3151</td><td>3156</td><td>3161</td><td>3166</td><td>3171</td><td>3176</td><td>3181</td><td>3186</td><td>3191</td><td>3196</td><td>3201</td><td>3206</td><td>3211</td><td>3216</td><td>3221</td><td>3226</td><td>3231</td><td>3236</td><td>3241</td><td>3246</td><td>3251</td><td>3256</td><td>3261</td><td>3266</td><td>3271</td><td>3276</td><td>3281</td><td>3286</td><td>3291</td><td>3296</td><td>3301</td><td>3306</td><td>3311</td><td>3316</td><td>3321</td><td>3326</td><td>3331</td><td>3336</td><td>3341</td><td>3346</td><td>3351</td><td>3356</td><td>3361</td><td>3366</td><td>3371</td><td>3376</td><td>3381</td><td>3386</td><td>3391</td><td>3396</td><td>3401</td><td>3406</td><td>3411</td><td>3416</td><td>3421</td><td>3426</td><td>3431</td><td>3436</td><td>3441</td><td>3446</td><td>3451</td><td>3456</td><td>3461</td><td>3466</td><td>3471</td><td>3476</td><td>3481</td><td>3486</td><td>3491</td><td>3496</td><td>3501</td><td>3506</td><td>3511</td><td>3516</td><td>3521</td><td>3526</td><td>3531</td><td>3536</td><td>3541</td><td>3546</td><td>3551</td><td>3556</td><td>3561</td><td>3566</td><td>3571</td><td>3576</td><td>3581</td><td>3586</td><td>3591</td><td>3596</td><td>3601</td><td>3606</td><td>3611</td><td>3616</td><td>3621</td><td>3626</td><td>3631</td><td>3636</td><td>3641</td><td>3646</td><td>3651</td><td>3656</td><td>3661</td><td>3666</td><td>3671</td><td>3676</td><td>3681</td><td>3686</td><td>3691</td><td>3696</td><td>3701</td><td>3706</td><td>3711</td><td>3716</td><td>3721</td><td>3726</td><td>3731</td><td>3736</td><td>3741</td><td>3746</td><td>3751</td><td>3756</td><td>3761</td><td>3766</td><td>3771</td><td>3776</td><td>3781</td><td>3786</td><td>3791</td><td>3796</td><td>3801</td><td>3806</td><td>3811</td><td>3816</td><td>3821</td><td>3826</td><td>3831</td><td>3836</td><td>3841</td><td>3846</td><td>3851</td><td>3856</td><td>3861</td><td>3866</td><td>3871</td><td>3876</td><td>3881</td><td>3886</td><td>3891</td><td>3896</td><td>3901</td><td>3906</td><td>3911</td><td>3916</td><td>3921</td><td>3926</td><td>3931</td><td>3936</td><td>3941</td><td>3946</td><td>3951</td><td>3956</td><td>3961</td><td>3966</td><td>3971</td><td>3976</td><td>3981</td><td>3986</td><td>3991</td><td>3996</td><td>4001</td><td>4006</td><td>4011</td><td>4016</td><td>4021</td><td>4026</td><td>4031</td><td>4036</td><td>4041</td><td>4046</td><td>4051</td><td>4056</td><td>4061</td><td>4066</td><td>4071</td><td>4076</td><td>4081</td><td>4086</td><td>4091</td><td>4096</td><td>4101</td><td>4106</td><td>4111</td><td>4116</td><td>4121</td><td>4126</td><td>4131</td><td>4136</td><td>4141</td><td>4146</td><td>4151</td><td>4156</td><td>4161</td><td>4166</td><td>4171</td><td>4176</td><td>4181</td><td>4186</td><td>4191</td><td>4196</td><td>4201</td><td>4206</td><td>4211</td><td>4216</td><td>4221</td><td>4226</td><td>4231</td><td>4236</td><td>4241</td><td>4246</td><td>4251</td><td>4256</td><td>4261</td><td>4266</td><td>4271</td><td>4276</td><td>4281</td><td>4286</td><td>4291</td><td>4296</td><td>4301</td><td>4306</td><td>4311</td><td>4316</td><td>4321</td><td>4326</td><td>4331</td><td>4336</td><td>4341</td><td>4346</td><td>4351</td><td>4356</td><td>4361</td><td>4366</td><td>4371</td><td>4376</td><td>4381</td><td>4386</td><td>4391</td><td>4396</td><td>4401</td><td>4406</td><td>4411</td><td>4416</td><td>4421</td><td>4426</td><td>4431</td><td>4436</td><td>4441</td><td>4446</td><td>4451</td><td>4456</td><td>4461</td><td>4466</td><td>4471</td><td>4476</td><td>4481</td><td>4486</td><td>4491</td><td>4496</td><td>4501</td><td>4506</td><td>4511</td><td>4516</td><td>4521</td><td>4526</td><td>4531</td><td>4536</td><td>4541</td><td>4546</td><td>4551</td><td>4556</td><td>4561</td><td>4566</td><td>4571</td><td>4576</td><td>4581</td><td>4586</td><td>4591</td><td>4596</td><td>4601</td><td>4606</td><td>4611</td><td>4616</td><td>4621</td><td>4626</td><td>4631</td><td>4636</td><td>4641</td><td>4646</td><td>4651</td><td>4656</td><td>4661</td><td>4666</td><td>4671</td><td>4676</td><td>4681</td><td>4686</td><td>4691</td><td>4696</td><td>4701</td><td>4706</td><td>4711</td><td>4716</td><td>4721</td><td>4726</td><td>4731</td><td>4736</td><td>4741</td><td>4746</td><td>4751</td><td>4756</td><td>4761</td><td>4766</td><td>4771</td><td>4776</td><td>4781</td><td>4786</td><td>4791</td><td>4796</td><td>4801</td><td>4806</td><td>4811</td><td>4816</td><td>4821</td><td>4826</td><td>4831</td><td>4836</td><td>4841</td><td>4846</td><td>4851</td><td>4856</td><td>4861</td><td>4866</td><td>4871</td><td>4876</td><td>4881</td><td>4886</td><td>4891</td><td>4896</td><td>4901</td><td>4906</td><td>4911</td><td>4916</td><td>4921</td><td>4926</td><td>4931</td><td>4936</td><td>4941</td><td>4946</td><td>4951</td><td>4956</td><td>4961</td><td>4966</td><td>4971</td><td>4976</td><td>4981</td><td>4986</td><td>4991</td><td>4996</td><td>5001</td><td>5006</td><td>5011</td><td>5016</td><td>5021</td><td>5026</td><td>5031</td><td>5036</td><td>5041</td><td>5046</td><td>5051</td><td>5056</td><td>5061</td><td>5066</td><td>5071</td><td>5076</td><td>5081</td><td>5086</td><td>5091</td><td>5096</td><td>5101</td><td>5106</td><td>5111</td><td>5116</td><td>5121</td><td>5126</td><td>5131</td><td>5136</td><td>5141</td><td>5146</td><td>5151</td><td>5156</td><td>5161</td><td>5166</td><td>5171</td><td>5176</td><td>5181</td><td>5186</td><td>5191</td><td>5196</td><td>5201</td><td>5206</td><td>5211</td><td>5216</td><td>5221</td><td>5226</td><td>5231</td><td>5236</td><td>5241</td><td>5246</td><td>5251</td><td>5256</td><td>5261</td><td>5266</td><td>5271</td><td>5276</td><td>5281</td><td>5286</td><td>5291</td><td>5296</td><td>5301</td><td>5306</td><td>5311</td><td>5316</td><td>5321</td><td>5326</td><td>5331</td><td>5336</td><td>5341</td><td>5346</td><td>5351</td><td>5356</td><td>5361</td><td>5366</td><td>5371</td><td>5376</td><td>5381</td><td>5386</td><td>5391</td><td>5396</td><td>5401</td><td>5406</td><td>5411</td><td>5416</td><td>5421</td><td>5426</td><td>5431</td><td>5436</td><td>5441</td><td>5446</td><td>5451</td><td>5456</td><td>5461</td><td>5466</td><td>5471</td><td>5476</td><td>5481</td><td>5486</td><td>5491</td><td>5496</td><td>5501</td><td>5506</td><td>5511</td><td>5516</td><td>5521</td><td>5526</td><td>5531</td><td>5536</td><td>5541</td><td>5546</td><td>5551</td><td>5556</td><td>5561</td><td>5566</td><td>5571</td><td>5576</td><td>5581</td><td>5586</td><td>5591</td><td>5596</td><td>5601</td><td>5606</td><td>5611</td><td>5616</td><td>5621</td><td>5626</td><td>5631</td><td>5636</td><td>5641</td><td>5646</td><td>5651</td><td>5656</td><td>5661</td><td>5666</td><td>5671</td><td>5676</td><td>5681</td><td>5686</td><td>5691</td><td>5696</td><td>5701</td><td>5706</td><td>5711</td><td>5716</td><td>5721</td><td>5726</td><td>5731</td><td>5736</td><td>5741</td><td>5746</td><td>5751</td><td>5756</td><td>5761</td><td>5766</td><td>5771</td><td>5776</td><td>5781</td><td>5786</td><td>5791</td><td>5796</td><td>5801</td><td>5806</td><td>5811</td><td>5816</td><td>5821</td><td>5826</td><td>5831</td><td>5836</td><td>5841</td><td>5846</td><td>5851</td><td>5856</td><td>5861</td><td>5866</td><td>5871</td><td>5876</td><td>5881</td><td>5886</td><td>5891</td><td>5896</td><td>5901</td><td>5906</td><td>5911</td><td>5916</td><td>5921</td><td>5926</td><td>5931</td><td>5936</td><td>5941</td><td>5946</td><td>5951</td><td>5956</td><td>5961</td><td>5966</td><td>5971</td><td>5976</td><td>5981</td><td>5986</td><td>5991</td><td>5996</td><td>6001</td><td>6006</td><td>6011</td><td>6016</td><td>6021</td><td>6026</td><td>6031</td><td>6036</td><td>6041</td><td>6046</td><td>6051</td><td>6056</td><td>6061</td><td>6066</td><td>6071</td><td>6076</td><td>6081</td><td>6086</td><td>6091</td><td>6096</td><td>6101</td><td>6106</td><td>6111</td><td>6116</td><td>6121</td><td>6126</td><td>6131</td><td>6136</td><td>6141</td><td>6146</td><td>6151</td><td>6156</td><td>6161</td><td>6166</td><td>6171</td><td>6176</td><td>6181</td><td>6186</td><td>6191</td><td>6196</td><td>6201</td><td>6206</td><td>6211</td><td>6216</td><td>6221</td><td>6226</td><td>6231</td><td>6236</td><td>6241</td><td>6246</td><td>6251</td><td>6256</td><td>6261</td><td>6266</td><td>6271</td><td>6276</td><td>6281</td><td>6286</td><td>6291</td><td>6296</td><td>6301</td><td>6306</td><td>6311</td><td>6316</td><td>6321</td><td>6326</td><td>6331</td><td>6336</td><td>6341</td><td>6346</td><td>6351</td><td>6356</td><td>6361</td><td>6366</td><td>6371</td><td>6376</td><td>6381</td><td>6386</td><td>6391</td><td>6396</td><td>6401</td><td>6406</td><td>6411</td><td>6416</td><td>6421</td><td>6426</td><td>6431</td><td>6436</td><td>6441</td><td>6446</td><td>6451</td><td>6456</td><td>6461</td><td>6466</td><td>6471</td><td>6476</td><td>6481</td><td>6486</td><td>6491</td><td>6496</td><td>6501</td><td>6506</td><td>6511</td><td>6516</td><td>6521</td><td>6526</td><td>6531</td><td>6536</td><td>6541</td><td>6546</td><td>6551</td><td>6556</td><td>6561</td><td>6566</td><td>6571</td><td>6576</td><td>6581</td><td>6586</td><td>6591</td><td>6596</td><td>6601</td><td>6606</td><td>6611</td><td>6616</td><td>6621</td><td>6626</td><td>6631</td><td></td></tr></table>	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	136	141	146	151	156	161	166	171	176	181	186	191	196	201	206	211	216	221	226	231	236	241	246	251	256	261	266	271	276	281	286	291	296	301	306	311	316	321	326	331	336	341	346	351	356	361	366	371	376	381	386	391	396	401	406	411	416	421	426	431	436	441	446	451	456	461	466	471	476	481	486	491	496	501	506	511	516	521	526	531	536	541	546	551	556	561	566	571	576	581	586	591	596	601	606	611	616	621	626	631	636	641	646	651	656	661	666	671	676	681	686	691	696	701	706	711	716	721	726	731	736	741	746	751	756	761	766	771	776	781	786	791	796	801	806	811	816	821	826	831	836	841	846	851	856	861	866	871	876	881	886	891	896	901	906	911	916	921	926	931	936	941	946	951	956	961	966	971	976	981	986	991	996	1001	1006	1011	1016	1021	1026	1031	1036	1041	1046	1051	1056	1061	1066	1071	1076	1081	1086	1091	1096	1101	1106	1111	1116	1121	1126	1131	1136	1141	1146	1151	1156	1161	1166	1171	1176	1181	1186	1191	1196	1201	1206	1211	1216	1221	1226	1231	1236	1241	1246	1251	1256	1261	1266	1271	1276	1281	1286	1291	1296	1301	1306	1311	1316	1321	1326	1331	1336	1341	1346	1351	1356	1361	1366	1371	1376	1381	1386	1391	1396	1401	1406	1411	1416	1421	1426	1431	1436	1441	1446	1451	1456	1461	1466	1471	1476	1481	1486	1491	1496	1501	1506	1511	1516	1521	1526	1531	1536	1541	1546	1551	1556	1561	1566	1571	1576	1581	1586	1591	1596	1601	1606	1611	1616	1621	1626	1631	1636	1641	1646	1651	1656	1661	1666	1671	1676	1681	1686	1691	1696	1701	1706	1711	1716	1721	1726	1731	1736	1741	1746	1751	1756	1761	1766	1771	1776	1781	1786	1791	1796	1801	1806	1811	1816	1821	1826	1831	1836	1841	1846	1851	1856	1861	1866	1871	1876	1881	1886	1891	1896	1901	1906	1911	1916	1921	1926	1931	1936	1941	1946	1951	1956	1961	1966	1971	1976	1981	1986	1991	1996	2001	2006	2011	2016	2021	2026	2031	2036	2041	2046	2051	2056	2061	2066	2071	2076	2081	2086	2091	2096	2101	2106	2111	2116	2121	2126	2131	2136	2141	2146	2151	2156	2161	2166	2171	2176	2181	2186	2191	2196	2201	2206	2211	2216	2221	2226	2231	2236	2241	2246	2251	2256	2261	2266	2271	2276	2281	2286	2291	2296	2301	2306	2311	2316	2321	2326	2331	2336	2341	2346	2351	2356	2361	2366	2371	2376	2381	2386	2391	2396	2401	2406	2411	2416	2421	2426	2431	2436	2441	2446	2451	2456	2461	2466	2471	2476	2481	2486	2491	2496	2501	2506	2511	2516	2521	2526	2531	2536	2541	2546	2551	2556	2561	2566	2571	2576	2581	2586	2591	2596	2601	2606	2611	2616	2621	2626	2631	2636	2641	2646	2651	2656	2661	2666	2671	2676	2681	2686	2691	2696	2701	2706	2711	2716	2721	2726	2731	2736	2741	2746	2751	2756	2761	2766	2771	2776	2781	2786	2791	2796	2801	2806	2811	2816	2821	2826	2831	2836	2841	2846	2851	2856	2861	2866	2871	2876	2881	2886	2891	2896	2901	2906	2911	2916	2921	2926	2931	2936	2941	2946	2951	2956	2961	2966	2971	2976	2981	2986	2991	2996	3001	3006	3011	3016	3021	3026	3031	3036	3041	3046	3051	3056	3061	3066	3071	3076	3081	3086	3091	3096	3101	3106	3111	3116	3121	3126	3131	3136	3141	3146	3151	3156	3161	3166	3171	3176	3181	3186	3191	3196	3201	3206	3211	3216	3221	3226	3231	3236	3241	3246	3251	3256	3261	3266	3271	3276	3281	3286	3291	3296	3301	3306	3311	3316	3321	3326	3331	3336	3341	3346	3351	3356	3361	3366	3371	3376	3381	3386	3391	3396	3401	3406	3411	3416	3421	3426	3431	3436	3441	3446	3451	3456	3461	3466	3471	3476	3481	3486	3491	3496	3501	3506	3511	3516	3521	3526	3531	3536	3541	3546	3551	3556	3561	3566	3571	3576	3581	3586	3591	3596	3601	3606	3611	3616	3621	3626	3631	3636	3641	3646	3651	3656	3661	3666	3671	3676	3681	3686	3691	3696	3701	3706	3711	3716	3721	3726	3731	3736	3741	3746	3751	3756	3761	3766	3771	3776	3781	3786	3791	3796	3801	3806	3811	3816	3821	3826	3831	3836	3841	3846	3851	3856	3861	3866	3871	3876	3881	3886	3891	3896	3901	3906	3911	3916	3921	3926	3931	3936	3941	3946	3951	3956	3961	3966	3971	3976	3981	3986	3991	3996	4001	4006	4011	4016	4021	4026	4031	4036	4041	4046	4051	4056	4061	4066	4071	4076	4081	4086	4091	4096	4101	4106	4111	4116	4121	4126	4131	4136	4141	4146	4151	4156	4161	4166	4171	4176	4181	4186	4191	4196	4201	4206	4211	4216	4221	4226	4231	4236	4241	4246	4251	4256	4261	4266	4271	4276	4281	4286	4291	4296	4301	4306	4311	4316	4321	4326	4331	4336	4341	4346	4351	4356	4361	4366	4371	4376	4381	4386	4391	4396	4401	4406	4411	4416	4421	4426	4431	4436	4441	4446	4451	4456	4461	4466	4471	4476	4481	4486	4491	4496	4501	4506	4511	4516	4521	4526	4531	4536	4541	4546	4551	4556	4561	4566	4571	4576	4581	4586	4591	4596	4601	4606	4611	4616	4621	4626	4631	4636	4641	4646	4651	4656	4661	4666	4671	4676	4681	4686	4691	4696	4701	4706	4711	4716	4721	4726	4731	4736	4741	4746	4751	4756	4761	4766	4771	4776	4781	4786	4791	4796	4801	4806	4811	4816	4821	4826	4831	4836	4841	4846	4851	4856	4861	4866	4871	4876	4881	4886	4891	4896	4901	4906	4911	4916	4921	4926	4931	4936	4941	4946	4951	4956	4961	4966	4971	4976	4981	4986	4991	4996	5001	5006	5011	5016	5021	5026	5031	5036	5041	5046	5051	5056	5061	5066	5071	5076	5081	5086	5091	5096	5101	5106	5111	5116	5121	5126	5131	5136	5141	5146	5151	5156	5161	5166	5171	5176	5181	5186	5191	5196	5201	5206	5211	5216	5221	5226	5231	5236	5241	5246	5251	5256	5261	5266	5271	5276	5281	5286	5291	5296	5301	5306	5311	5316	5321	5326	5331	5336	5341	5346	5351	5356	5361	5366	5371	5376	5381	5386	5391	5396	5401	5406	5411	5416	5421	5426	5431	5436	5441	5446	5451	5456	5461	5466	5471	5476	5481	5486	5491	5496	5501	5506	5511	5516	5521	5526	5531	5536	5541	5546	5551	5556	5561	5566	5571	5576	5581	5586	5591	5596	5601	5606	5611	5616	5621	5626	5631	5636	5641	5646	5651	5656	5661	5666	5671	5676	5681	5686	5691	5696	5701	5706	5711	5716	5721	5726	5731	5736	5741	5746	5751	5756	5761	5766	5771	5776	5781	5786	5791	5796	5801	5806	5811	5816	5821	5826	5831	5836	5841	5846	5851	5856	5861	5866	5871	5876	5881	5886	5891	5896	5901	5906	5911	5916	5921	5926	5931	5936	5941	5946	5951	5956	5961	5966	5971	5976	5981	5986	5991	5996	6001	6006	6011	6016	6021	6026	6031	6036	6041	6046	6051	6056	6061	6066	6071	6076	6081	6086	6091	6096	6101	6106	6111	6116	6121	6126	6131	6136	6141	6146	6151	6156	6161	6166	6171	6176	6181	6186	6191	6196	6201	6206	6211	6216	6221	6226	6231	6236	6241	6246	6251	6256	6261	6266	6271	6276	6281	6286	6291	6296	6301	6306	6311	6316	6321	6326	6331	6336	6341	6346	6351	6356	6361	6366	6371	6376	6381	6386	6391	6396	6401	6406	6411	6416	6421	6426	6431	6436	6441	6446	6451	6456	6461	6466	6471	6476	6481	6486	6491	6496	6501	6506	6511	6516	6521	6526	6531	6536	6541	6546	6551	6556	6561	6566	6571	6576	6581	6586	6591	6596	6601	6606	6611	6616	6621	6626	6631	
1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	136	141	146	151	156	161	166	171	176	181	186	191	196	201	206	211	216	221	226	231	236	241	246	251	256	261	266	271	276	281	286	291	296	301	306	311	316	321	326	331	336	341	346	351	356	361	366	371	376	381	386	391	396	401	406	411	416	421	426	431	436	441	446	451	456	461	466	471	476	481	486	491	496	501	506	511	516	521	526	531	536	541	546	551	556	561	566	571	576	581	586	591	596	601	606	611	616	621	626	631	636	641	646	651	656	661	666	671	676	681	686	691	696	701	706	711	716	721	726	731	736	741	746	751	756	761	766	771	776	781	786	791	796	801	806	811	816	821	826	831	836	841	846	851	856	861	866	871	876	881	886	891	896	901	906	911	916	921	926	931	936	941	946	951	956	961	966	971	976	981	986	991	996	1001	1006	1011	1016	1021	1026	1031	1036	1041	1046	1051	1056	1061	1066	1071	1076	1081	1086	1091	1096	1101	1106	1111	1116	1121	1126	1131	1136	1141	1146	1151	1156	1161	1166	1171	1176	1181	1186	1191	1196	1201	1206	1211	1216	1221	1226	1231	1236	1241	1246	1251	1256	1261	1266	1271	1276	1281	1286	1291	1296	1301	1306	1311	1316	1321	1326	1331	1336	1341	1346	1351	1356	1361	1366	1371	1376	1381	1386	1391	1396	1401	1406	1411	1416	1421	1426	1431	1436	1441	1446	1451	1456	1461	1466	1471	1476	1481	1486	1491	1496	1501	1506	1511	1516	1521	1526	1531	1536	1541	1546	1551	1556	1561	1566	1571	1576	1581	1586	1591	1596	1601	1606	1611	1616	1621	1626	1631	1636	1641	1646	1651	1656	1661	1666	1671	1676	1681	1686	1691	1696	1701	1706	1711	1716	1721	1726	1731	1736	1741	1746	1751	1756	1761	1766	1771	1776	1781	1786	1791	1796	1801	1806	1811	1816	1821	1826	1831	1836	1841	1846	1851	1856	1861	1866	1871	1876	1881	1886	1891	1896	1901	1906	1911	1916	1921	1926	1931	1936	1941	1946	1951	1956	1961	1966	1971	1976	1981	1986	1991	1996	2001	2006	2011	2016	2021	2026	2031	2036	2041	2046	2051	2056	2061	2066	2071	2076	2081	2086	2091	2096	2101	2106	2111	2116	2121	2126	2131	2136	2141	2146	2151	2156	2161	2166	2171	2176	2181	2186	2191	2196	2201	2206	2211	2216	2221	2226	2231	2236	2241	2246	2251	2256	2261	2266	2271	2276	2281	2286	2291	2296	2301	2306	2311	2316	2321	2326	2331	2336	2341	2346	2351	2356	2361	2366	2371	2376	2381	2386	2391	2396	2401	2406	2411	2416	2421	2426	2431	2436	2441	2446	2451	2456	2461	2466	2471	2476	2481	2486	2491	2496	2501	2506	2511	2516	2521	2526	2531	2536	2541	2546	2551	2556	2561	2566	2571	2576	2581	2586	2591	2596	2601	2606	2611	2616	2621	2626	2631	2636	2641	2646	2651	2656	2661	2666	2671	2676	2681	2686	2691	2696	2701	2706	2711	2716	2721	2726	2731	2736	2741	2746	2751	2756	2761	2766	2771	2776	2781	2786	2791	2796	2801	2806	2811	2816	2821	2826	2831	2836	2841	2846	2851	2856	2861	2866	2871	2876	2881	2886	2891	2896	2901	2906	2911	2916	2921	2926	2931	2936	2941	2946	2951	2956	2961	2966	2971	2976	2981	2986	2991	2996	3001	3006	3011	3016	3021	3026	3031	3036	3041	3046	3051	3056	3061	3066	3071	3076	3081	3086	3091	3096	3101	3106	3111	3116	3121	3126	3131	3136	3141	3146	3151	3156	3161	3166	3171	3176	3181	3186	3191	3196	3201	3206	3211	3216	3221	3226	3231	3236	3241	3246	3251	3256	3261	3266	3271	3276	3281	3286	3291	3296	3301	3306	3311	3316	3321	3326	3331	3336	3341	3346	3351	3356	3361	3366	3371	3376	3381	3386	3391	3396	3401	3406	3411	3416	3421	3426	3431	3436	3441	3446	3451	3456	3461	3466	3471	3476	3481	3486	3491	3496	3501	3506	3511	3516	3521	3526	3531	3536	3541	3546	3551	3556	3561	3566	3571	3576	3581	3586	3591	3596	3601	3606	3611	3616	3621	3626	3631	3636	3641	3646	3651	3656	3661	3666	3671	3676	3681	3686	3691	3696	3701	3706	3711	3716	3721	3726	3731	3736	3741	3746	3751	3756	3761	3766	3771	3776	3781	3786	3791	3796	3801	3806	3811	3816	3821	3826	3831	3836	3841	3846	3851	3856	3861	3866	3871	3876	3881	3886	3891	3896	3901	3906	3911	3916	3921	3926	3931	3936	3941	3946	3951	3956	3961	3966	3971	3976	3981	3986	3991	3996	4001	4006	4011	4016	4021	4026	4031	4036	4041	4046	4051	4056	4061	4066	4071	4076	4081	4086	4091	4096	4101	4106	4111	4116	4121	4126	4131	4136	4141	4146	4151	4156	4161	4166	4171	4176	4181	4186	4191	4196	4201	4206	4211	4216	4221	4226	4231	4236	4241	4246	4251	4256	4261	4266	4271	4276	4281	4286	4291	4296	4301	4306	4311	4316	4321	4326	4331	4336	4341	4346	4351	4356	4361	4366	4371	4376	4381	4386	4391	4396	4401	4406	4411	4416	4421	4426	4431	4436	4441	4446	4451	4456	4461	4466	4471	4476	4481	4486	4491	4496	4501	4506	4511	4516	4521	4526	4531	4536	4541	4546	4551	4556	4561	4566	4571	4576	4581	4586	4591	4596	4601	4606	4611	4616	4621	4626	4631	4636	4641	4646	4651	4656	4661	4666	4671	4676	4681	4686	4691	4696	4701	4706	4711	4716	4721	4726	4731	4736	4741	4746	4751	4756	4761	4766	4771	4776	4781	4786	4791	4796	4801	4806	4811	4816	4821	4826	4831	4836	4841	4846	4851	4856	4861	4866	4871	4876	4881	4886	4891	4896	4901	4906	4911	4916	4921	4926	4931	4936	4941	4946	4951	4956	4961	4966	4971	4976	4981	4986	4991	4996	5001	5006	5011	5016	5021	5026	5031	5036	5041	5046	5051	5056	5061	5066	5071	5076	5081	5086	5091	5096	5101	5106	5111	5116	5121	5126	5131	5136	5141	5146	5151	5156	5161	5166	5171	5176	5181	5186	5191	5196	5201	5206	5211	5216	5221	5226	5231	5236	5241	5246	5251	5256	5261	5266	5271	5276	5281	5286	5291	5296	5301	5306	5311	5316	5321	5326	5331	5336	5341	5346	5351	5356	5361	5366	5371	5376	5381	5386	5391	5396	5401	5406	5411	5416	5421	5426	5431	5436	5441	5446	5451	5456	5461	5466	5471	5476	5481	5486	5491	5496	5501	5506	5511	5516	5521	5526	5531	5536	5541	5546	5551	5556	5561	5566	5571	5576	5581	5586	5591	5596	5601	5606	5611	5616	5621	5626	5631	5636	5641	5646	5651	5656	5661	5666	5671	5676	5681	5686	5691	5696	5701	5706	5711	5716	5721	5726	5731	5736	5741	5746	5751	5756	5761	5766	5771	5776	5781	5786	5791	5796	5801	5806	5811	5816	5821	5826	5831	5836	5841	5846	5851	5856	5861	5866	5871	5876	5881	5886	5891	5896	5901	5906	5911	5916	5921	5926	5931	5936	5941	5946	5951	5956	5961	5966	5971	5976	5981	5986	5991	5996	6001	6006	6011	6016	6021	6026	6031	6036	6041	6046	6051	6056	6061	6066	6071	6076	6081	6086	6091	6096	6101	6106	6111	6116	6121	6126	6131	6136	6141	6146	6151	6156	6161	6166	6171	6176	6181	6186	6191	6196	6201	6206	6211	6216	6221	6226	6231	6236	6241	6246	6251	6256	6261	6266	6271	6276	6281	6286	6291	6296	6301	6306	6311	6316	6321	6326	6331	6336	6341	6346	6351	6356	6361	6366	6371	6376	6381	6386	6391	6396	6401	6406	6411	6416	6421	6426	6431	6436	6441	6446	6451	6456	6461	6466	6471	6476	6481	6486	6491	6496	6501	6506	6511	6516	6521	6526	6531	6536	6541	6546	6551	6556	6561	6566	6571	6576	6581	6586	6591	6596	6601	6606	6611	6616	6621	6626	6631		

FICHA DE PROCESSAMENTO E CONTROLE		OSLD no 1245
Etapas no	Pimenteira da Lapa - C	Página 1 de 1
Material Nacional		
Procedimento	Recomendações de Segurança	
Sub-Etapa	Condições de Execução	Observações
	$t = 90^{\circ}\text{C}$	$\dot{V} = 30\text{C'}$
	SE - 5' ϕ	CO ₂ 14/min (sat. 11,2)
	t - 5' ϕ	O ₂ 6'
	CF - 30' ϕ	O ₂ 6'
	t - 3' ϕ	O ₂ 6'
	SE - 5' ϕ	N ₂ 6'
		Vapor d' agua desaturado todo o processo.
		(2) Separamento férias de 5' entre
		do Vehical 25 Segundo no CP.
		mid
		3/11/81