

NSR Calculation Requirements — Mina Caraíba

1. Visão Geral

Este documento especifica os requisitos de cálculo do NSR (Net Smelter Return) baseado na planilha "NSR Caraíba - V.1_open.xlsm". O sistema deve replicar fielmente os cálculos dessa planilha.

2. Estrutura de Dados

2.1 Metais Suportados

O sistema deve suportar cálculo multi-metal com:

Metal	Código	Unidade de Teor	Unidade de Preço
Cobre	Cu	%	\$/lb
Ouro	Au	g/t	\$/oz
Prata	Ag	g/t	\$/oz

Nota: Au e Ag são tratados como **subprodutos** do concentrado de cobre (notação "Au -> Cu", "Ag -> Cu").

2.2 Áreas de Mineração (Minas)

O sistema deve suportar múltiplas minas/áreas:

Mina	Áreas
Pilar UG	Deepening Above-965, Deepening Below-965, MSBSUL, P1P2NE, P1P2W, BARAUNA, HONEYPOT, R22UG, MSBW, GO2040, PROJETO N-100, EAST LIMB

Mina	Áreas
Vermelhos UG	Vermelhos Sul, UG03, N5/UG04, N8-UG
Surubim & C12	Surubim OP, C12 OP, C12 UG
Vermelhos OP	N8, N9
Suçuarana OP	Suçuarana OP, S10, S5

2.3 Métodos de Mineração

Método	Código
Underground (Subterrâneo)	UG
Open Pit (Céu Aberto)	OP

3. Inputs do Sistema

3.1 Parâmetros de Minério (Ore)

Campo	Descrição	Unidade	Exemplo
ore_tonnage	Massa de minério	tonnes	20,000
mine_dilution	Diluição da mina	decimal (0-1)	0.14
ore_recovery	Recuperação de minério	decimal (0-1)	0.98

3.2 Teores de Cabeça (Head Grades)

Campo	Descrição	Unidade	Exemplo
cu_grade	Teor de cobre	%	1.4

Campo	Descrição	Unidade	Exemplo
au_grade	Teor de ouro	g/t	0.23
ag_grade	Teor de prata	g/t	2.33

3.3 Price Deck (Preços de Commodities)

Campo	Descrição	Unidade	Exemplo (Mineral Resources)
cu_price	Preço do cobre	\$/lb	9,149 (centavos) = \$4.15/lb
au_price	Preço do ouro	\$/oz	2,400
ag_price	Preço da prata	\$/oz	29

Cenários de preço disponíveis:

- Mineral Resources
- Mineral Reserves
- Consensus Low
- Consensus Mean
- Consensus High

3.4 Termos Comerciais (Pricing Assumptions)

3.4.1 Cobre (Cu)

Campo	Descrição	Valor Default	Unidade
cu_discount	Desconto no preço	3.35%	decimal
cu_payability	Payability	96.65%	decimal
cu_tc	Treatment Charge	40	\$/dmt conc
cu_rc	Refining Charge	1.90	\$/lb Cu pagável
cu_freight	Frete	84	\$/dmt conc
cu_penalties	Penalidades	0	\$/dmt conc
cu_other_costs	Outros custos	0	\$/dmt conc

Campo	Descrição	Valor Default	Unidade
conc_loss_factor	Fator de perda de concentrado	0	decimal

3.4.2 Ouro (Au -> Cu)

Campo	Descrição	Valor Default	Unidade
au_payability	Payability	90%	decimal
au_rc	Refining Charge	4.00	\$/oz Au pagável

3.4.3 Prata (Ag -> Cu)

Campo	Descrição	Valor Default	Unidade
ag_payability	Payability	90%	decimal
ag_rc	Refining Charge	0.35	\$/oz Ag pagável

3.5 Recuperação Metalúrgica

A recuperação de cobre é calculada por uma **fórmula linear** dependente do teor:

$$\text{Cu Recovery (\%)} = a \times \text{Cu Grade (\%)} + b$$

Parâmetros por área:

Área	a	b	Fixed (se aplicável)
Vermelhos Sul	2.8286	92.584	-
UG03	2.8286	92.584	-
Pilar UG - Deepening Above-965	4.0851	90.346	92.9%
MSBSUL	7.5986	85.494	90%
P1P2NE	2.3826	91.442	-
P1P2W	8.8922	87.637	-
R22UG	3.0368	91.539	-

Área	a	b	Fixed (se aplicável)
MSBW	3.0368	91.539	-
GO2040	5.4967	88.751	-
EAST LIMB	-	91	fixo
Surubim OP	4.0718	87.885	-
C12 OP	4.0718	87.885	-

Nota: Se "Fixed" está definido, usar o valor fixo em vez da fórmula.

Recuperação de Au e Ag: Configurável por cenário (ex: "Base Case" = valor fixo).

3.6 Teor do Concentrado

Campo	Descrição	Unidade	Exemplo
cu_conc_grade	Teor de Cu no concentrado	%	Configurável por cenário

3.7 Royalties

Tipo	Taxa	Descrição
CFEM	2%	Royalty governamental brasileiro
Third-Party	0%	Royalty para terceiros

3.8 Custos Operacionais (para EBITDA)

Campo	Descrição	Unidade	Exemplo
mine_cost	Custo de lavra	\$/t ore	28
development_cost	Custo de desenvolvimento	\$/meter	2,257
development_meters	Metros de desenvolvimento	meters	50
haul_cost	Custo de transporte	\$/t ore	13.57
plant_cost	Custo de planta	\$/t ore	7.4

Campo	Descrição	Unidade	Exemplo
ga_cost	G&A	\$/t ore	configurável

4. Fórmulas de Cálculo

4.1 Conversões de Unidades

```
# Constantes
TROY_OZ_PER_GRAM = 1 / 31.1035
LB_PER_TONNE = 2204.62
KG_PER_TONNE = 1000

# Conversão de teor para fração
def grade_to_fraction(grade: float, unit: str) -> float:
    if unit == "%":
        return grade / 100
    elif unit == "g/t":
        return grade / 1_000_000 # g/t = ppm
    elif unit == "ppm":
        return grade / 1_000_000
    return grade

# Conversão de preço
def price_per_lb_to_per_tonne(price_per_lb: float) -> float:
    return price_per_lb * LB_PER_TONNE

def price_per_oz_to_per_gram(price_per_oz: float) -> float:
    return price_per_oz * TROY_OZ_PER_GRAM
```

4.2 Cálculo de Recuperação de Cobre

```
def compute_cu_recovery(cu_grade_pct: float, area: str) -> float:
    """
    Calcula recuperação de cobre baseado no teor e área.
    Retorna valor em decimal (0-1).
    """
    params = get_recovery_params(area)

    if params.fixed is not None:
        return params.fixed / 100

    recovery_pct = params.a * cu_grade_pct + params.b
    return min(recovery_pct / 100, 1.0) # Cap at 100%
```

4.3 Cálculo de Metal Contido no Concentrado

```
def compute_metal_in_concentrate(
    ore_tonnage: float,
    head_grade: float, # em unidade original (% , g/t)
    grade_unit: str,
    recovery: float, # decimal
    cu_conc_grade: float, # %
) -> dict:
    """
    Calcula a quantidade de metal contido no concentrado.
    """
    # Metal contido no minério
    if grade_unit == "%":
        metal_in_ore = ore_tonnage * (head_grade / 100)
    elif grade_unit == "g/t":
        metal_in_ore = ore_tonnage * head_grade / 1000 # kg

    # Metal recuperado
    metal_recovered = metal_in_ore * recovery

    # Tonelagem de concentrado (para Cu)
    if grade_unit == "%": # Cobre
        conc_tonnage = metal_recovered / (cu_conc_grade / 100)
    else:
        conc_tonnage = None # Au/Ag não determinam tonnage de conc

    return {
        "metal_in_ore": metal_in_ore,
        "metal_recovered": metal_recovered,
        "conc_tonnage": conc_tonnage
    }
```


4.4 Cálculo de Preço do Concentrado (Conc. Price)

```
def compute_conc_price_cu(
    cu_price_per_lb: float,
    cu_conc_grade: float, # %
    payability: float, # decimal (0.9665)
    tc: float, # $/dmt
    rc: float, # $/lb
    freight: float, # $/dmt
    penalties: float = 0, # $/dmt
    other_costs: float = 0, # $/dmt
) -> float:
    """
    Calcula o preço do concentrado de Cu em $/t conc.

    Fórmula:
    Conc Price = (Cu Price × Cu Conc Grade × Payability × LB_PER_TONNE) - TC - (RC × Cu
    """
    cu_grade_fraction = cu_conc_grade / 100

    # Receita bruta por tonelada de concentrado
    gross_revenue = cu_price_per_lb * cu_grade_fraction * payability * LB_PER_TONNE

    # Deduções
    rc_total = rc * cu_grade_fraction * LB_PER_TONNE # RC por lb de Cu no conc
    total_deductions = tc + rc_total + freight + penalties + other_costs

    return gross_revenue - total_deductions


def compute_conc_price_au(
    au_price_per_oz: float,
    au_grade_in_conc: float, # g/t no concentrado
    payability: float, # decimal (0.90)
    rc: float, # $/oz
) -> float:
    """
    Calcula a contribuição do Au para o preço do concentrado em $/t conc.
    """
    au_oz_per_tonne_conc = au_grade_in_conc * TROY_OZ_PER_GRAM

    gross_revenue = au_price_per_oz * au_oz_per_tonne_conc * payability
    rc_total = rc * au_oz_per_tonne_conc
```

```
return gross_revenue - rc_total
```

```
def compute_conc_price_ag(
    ag_price_per_oz: float,
    ag_grade_in_conc: float, # g/t no concentrado
    payability: float, # decimal (0.90)
    rc: float, # $/oz
) -> float:
    """
    Calcula a contribuição do Ag para o preço do concentrado em $/t conc.
    """
    ag_oz_per_tonne_conc = ag_grade_in_conc * TROY_OZ_PER_GRAM

    gross_revenue = ag_price_per_oz * ag_oz_per_tonne_conc * payability
    rc_total = rc * ag_oz_per_tonne_conc

    return gross_revenue - rc_total
```

4.5 Cálculo do NSR por Tonelada de Minério

```
def compute_nsr_per_tonne(  
    conc_price_total: float, # $/t conc (Cu + Au + Ag)  
    conc_ratio: float, # t conc / t ore  
) -> float:  
    """  
    Calcula NSR por tonelada de minério.  
  
    NSR ($/t ore) = Conc Price ($/t conc) × Conc Ratio (t conc / t ore)  
  
    Onde:  
    Conc Ratio = (Cu Grade × Cu Recovery) / Cu Conc Grade  
    """  
    return conc_price_total * conc_ratio
```



```
def compute_conc_ratio(  
    cu_grade: float, # %  
    cu_recovery: float, # decimal  
    cu_conc_grade: float, # %  
) -> float:  
    """  
    Calcula a razão de concentrado (t conc / t ore).  
    """  
    return (cu_grade / 100) * cu_recovery / (cu_conc_grade / 100)
```

4.6 Ajustes de Diluição e Recuperação de Minério

```
def compute_nsr_with_mine_factors(  
    nsr_processing: float, # NSR após processing ($/t ore)  
    mine_dilution: float, # decimal (0.14)  
    ore_recovery: float, # decimal (0.98)  
) -> float:  
    """  
    Ajusta NSR para fatores de mina (diluição e recuperação).  
  
    NSR Mine = NSR Processing × (1 – Dilution) × Ore Recovery  
  
    Alternativamente, pode ser calculado como:  
    NSR Mine = Mineral Resources NSR – Dilution & Ore Loss  
    """  
    dilution_factor = (1 - mine_dilution) * ore_recovery  
    return nsr_processing * dilution_factor
```

4.7 Cálculo Completo do NSR

```
def compute_nsr_complete(inputs: NSRInputs) -> NSRResult:
    """
    Cálculo completo do NSR seguindo a metodologia Caraíba.
    """

    # 1. Calcular recuperação de Cu
    cu_recovery = compute_cu_recovery(inputs.cu_grade, inputs.area)

    # 2. Calcular razão de concentrado
    conc_ratio = compute_conc_ratio(
        inputs.cu_grade,
        cu_recovery,
        inputs.cu_conc_grade
    )

    # 3. Calcular teores no concentrado (Au e Ag)
    # Au e Ag no conc = (teor no ore × recovery) / conc_ratio
    au_in_conc = (inputs.au_grade * inputs.au_recovery) / conc_ratio
    ag_in_conc = (inputs.ag_grade * inputs.ag_recovery) / conc_ratio

    # 4. Calcular preço do concentrado
    conc_price_cu = compute_conc_price_cu(
        inputs.cu_price, inputs.cu_conc_grade,
        inputs.cu_payability, inputs.cu_tc, inputs.cu_rc,
        inputs.cu_freight, inputs.cu_penalties
    )

    conc_price_au = compute_conc_price_au(
        inputs.au_price, au_in_conc,
        inputs.au_payability, inputs.au_rc
    )

    conc_price_ag = compute_conc_price_ag(
        inputs.ag_price, ag_in_conc,
        inputs.ag_payability, inputs.ag_rc
    )

    conc_price_total = conc_price_cu + conc_price_au + conc_price_ag

    # 5. Calcular NSR por tonelada de minério (nível Mineral Resources)
    nsr_cu = conc_price_cu * conc_ratio
    nsr_au = conc_price_au * conc_ratio
```

```

nsr_ag = conc_price_ag * conc_ratio
nsr_total = nsr_cu + nsr_au + nsr_ag

# 6. Aplicar fatores de mina (diluição e ore recovery)
nsr_mine = compute_nsr_with_mine_factors(
    nsr_total,
    inputs.mine_dilution,
    inputs.ore_recovery
)

return NSRResult(
    # Preço do concentrado
    conc_price_cu=conc_price_cu,
    conc_price_au=conc_price_au,
    conc_price_ag=conc_price_ag,
    conc_price_total=conc_price_total,

    # NSR por componente ($/t ore)
    nsr_cu=nsr_cu,
    nsr_au=nsr_au,
    nsr_ag=nsr_ag,

    # NSR total
    nsr_mineral_resources=nsr_total, # Antes de diluição
    nsr_mine=nsr_mine, # Após diluição e ore recovery

    # Breakdown
    conc_ratio=conc_ratio,
    cu_recovery=cu_recovery,
    dilution_loss=nsr_total - nsr_mine,

    # Metadados
    inputs_used=inputs,
    formula_applied="NSR =  $\Sigma(\text{Conc Price} \times \text{Conc Ratio}) \times (1 - \text{Dilution}) \times \text{Ore Recove}$ 
)

```

5. Outputs do Sistema

5.1 Preço do Concentrado (\$/t conc)

Output	Descrição	Exemplo
conc_price_cu	Contribuição do Cu	\$2,824.68
conc_price_au	Contribuição do Au	\$244.76
conc_price_ag	Contribuição do Ag	\$29.65
conc_price_total	Preço total	\$3,099.09

5.2 NSR por Tonelada de Minério (\$/t ore)

Output	Descrição	Exemplo
nsr_cu	NSR do Cu	\$108.21
nsr_au	NSR do Au	\$9.38
nsr_ag	NSR do Ag	\$1.14
nsr_total	NSR Total (Mineral Resources)	\$118.72
nsr_processing	NSR após Processing	\$131.76
nsr_mine	NSR após Mina (com diluição)	\$148.01

5.3 Breakdown

Output	Descrição
dilution_ore_loss	Perda por diluição e ore recovery
recovery_loss	Perda por recuperação metalúrgica
freight_and_others	Custos de frete e outros

5.4 EBITDA (Opcional)

Output	Descrição	Fórmula
revenue	Receita total	NSR × Tonnage
mine_cost_total	Custo de mina total	Mine Cost × Tonnage
dev_cost_total	Custo de desenvolvimento	Dev Cost × Meters
haul_cost_total	Custo de transporte	Haul Cost × Tonnage
plant_cost_total	Custo de planta	Plant Cost × Tonnage
ebitda	EBITDA	Revenue - Custos

6. Validação

6.1 Caso de Teste: Vermelhos Sul

Inputs:

- Mine: Vermelhos UG
- Area: Vermelhos Sul
- Cu Grade: 1.4%
- Au Grade: 0.23 g/t
- Ag Grade: 2.33 g/t
- Mine Dilution: 14%
- Ore Recovery: 98%
- Cu Price: \$9,149/lb (ou valor equivalente)
- Au Price: \$2,400/oz
- Ag Price: \$29/oz
- Cu Payability: 96.65%
- Cu TC: \$40/dmt
- Cu RC: \$1.90/lb
- Cu Freight: \$84/dmt

Outputs Esperados:

- Conc Price Cu: ~\$2,824.68/t conc

- Conc Price Au: ~\$244.76/t conc
- Conc Price Ag: ~\$29.65/t conc
- Conc Price Total: ~\$3,099.09/t conc
- NSR Cu: ~\$108.21/t ore
- NSR Au: ~\$9.38/t ore
- NSR Ag: ~\$1.14/t ore
- NSR Total: ~\$118.72/t ore
- Mineral Resources: ~\$175.61
- NSR Mine: ~\$148.01

Tolerância: Diferença $\leq 0.1\%$ (exceto arredondamento)

7. Requisitos Funcionais

REQ-001: Suporte Multi-Metal

O sistema DEVE suportar cálculo de NSR para:

- Metal principal: Cobre (Cu)
- Subprodutos: Ouro (Au) e Prata (Ag)

REQ-002: Termos Comerciais Configuráveis

O sistema DEVE permitir configuração de:

- Payability por metal
- TC (Treatment Charge) para Cu
- RC (Refining Charge) por metal
- Freight
- Penalidades

REQ-003: Recuperação por Área

O sistema DEVE calcular recuperação de Cu usando:

- Fórmula linear ($a \times \text{grade} + b$) por área
- OU valor fixo quando especificado

REQ-004: Fatores de Mina

O sistema DEVE aplicar:

- Diluição de mina
- Recuperação de minério (ore recovery)

REQ-005: Breakdown Detalhado

O sistema DEVE fornecer breakdown mostrando:

- Contribuição de cada metal
- Perdas por diluição
- Perdas por recuperação
- Custos detalhados

REQ-006: Cenários de Preço

O sistema DEVE suportar múltiplos cenários de preço:

- Mineral Resources
- Mineral Reserves
- Consensus (Low/Mean/High)

REQ-007: Múltiplas Áreas

O sistema DEVE suportar seleção de:

- Mina (Mine)
- Área dentro da mina

REQ-008: Auditabilidade

O sistema DEVE registrar:

- Todos inputs utilizados
- Fórmula aplicada
- Valores intermediários

REQ-009: Unidades Explícitas

O sistema DEVE exibir unidades para todos valores:

- \$/t ore (NSR por tonelada de minério)
- \$/t conc (Preço por tonelada de concentrado)
- % (percentuais)
- g/t (gramas por tonelada)

REQ-010: Validação de Inputs

O sistema DEVE validar:

- Teores positivos
- Recovery \leq 100%
- Payability \leq 100%
- Diluição \leq 100%

8. Mapeamento para User Stories

Requisito	User Stories Relacionadas
REQ-001	US-03 (Domínio), US-07 (nsr_total)
REQ-002	US-03 (Domínio), US-06 (deductions)
REQ-003	US-04 (payable_metal) - NOVO REQUISITO
REQ-004	US-07 (nsr_total) - EXPANDIR
REQ-005	US-07 (nsr_total), US-13 (Result UI)
REQ-006	US-14 (Scenarios) - EXPANDIR
REQ-007	US-03 (Domínio) - EXPANDIR
REQ-008	US-07 (nsr_total), US-09 (API)
REQ-009	US-13 (Result UI)
REQ-010	US-04, US-09, US-12

9. Gaps Identificados nas User Stories

GAP-001: Recuperação Variável por Área

Descrição: User stories assumem recuperação fixa, mas Caraíba usa fórmula linear.

Ação: Adicionar suporte a recuperação calculada em US-04.

GAP-002: Teores no Concentrado para Subprodutos

Descrição: Au e Ag têm teores no concentrado derivados da razão de concentrado.

Ação: Expandir US-05 para calcular teores no concentrado.

GAP-003: Múltiplas Áreas por Mina

Descrição: Planilha suporta seleção de Mine + Area.

Ação: Expandir modelo de domínio em US-03.

GAP-004: Fatores de Mina (Diluição + Ore Recovery)

Descrição: NSR final considera perdas de mina.

Ação: Adicionar cálculo em US-07.

GAP-005: Price Deck com Múltiplos Cenários

Descrição: Planilha tem cenários pré-definidos (Resources, Reserves, Consensus).

Ação: Adicionar seed data em US-03.

10. Constantes e Conversões

```
# Conversões de peso
LB_PER_KG = 2.20462
LB_PER_TONNE = 2204.62
KG_PER_TONNE = 1000
GRAM_PER_KG = 1000
GRAM_PER_TONNE = 1_000_000

# Conversões de onça troy
TROY_OZ_PER_GRAM = 0.0321507
GRAM_PER_TROY_OZ = 31.1035

# Conversões de unidade de teor
PCT_TO_FRACTION = 0.01
PPM_TO_FRACTION = 1e-6
GPT_TO_FRACTION = 1e-6 # g/t = ppm para massa
```

11. Referência: Planilha Original

Estrutura de Planilhas

Planilha	Conteúdo
NSR	Calculadora principal, inputs e outputs
Assumptions ->	Navegação (vazia)
Price and Costs	Price deck, termos comerciais, royalties
Processing	Parâmetros de recuperação por área
Data	Lista de minas e áreas

Células Chave da Planilha NSR

Célula	Conteúdo
E5-F5	Seleção de Mine/Area

Célula	Conteúdo
E10-F12	Head Grades (Cu, Au, Ag)
L7-M10	Conc. Price breakdown
L16-M20	NSR breakdown
Q10-R15	Custos operacionais
U7-U13	Cascata de NSR (Resources → Mine → Processing)